

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITE DE NANCY I

pour obtenir le diplôme de

DOCTEUR - INGENIEUR

par

Zabihollah KAFFACHE

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ALIMENTATION AZOTÉE DE QUATRE ESPÈCES FOURRAGÈRES :

Ray-grass d'Italie **Lolium multiflorum Lam.**

Dactyle **Dactylis glomerata L.**

Luzerne **Medicago sativa L.**

Trèfle blanc **Trifolium repens L.**

Soutenue publiquement le 8 Novembre 1974 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury :

Messieurs J. GARNIER ..
F. MANGENOT
J. DEXHEIMER

Président

Examineurs

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITE DE NANCY I

pour obtenir le diplôme de

DOCTEUR - INGENIEUR

par

Zabihollah KAFFACHE

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ALIMENTATION AZOTÉE DE QUATRE ESPÈCES FOURRAGÈRES :

Ray-grass d'Italie	Lolium multiflorum Lam.
Dactyle	Dactylis glomerata L.
Luzerne	Medicago sativa L.
Trèfle blanc	Trifolium repens L.

Soutenue publiquement le 8 Novembre 1974 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury :

Messieurs	J. GARNIER ..	} <i>Président</i>
	F. MANGENOT	
	J. DEXHEIMER	
		} <i>Examineurs</i>

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ DE NANCY I

pour obtenir le diplôme de

DOCTEUR - INGÉNIEUR

par

Zébidollah KAFACHE

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ALIMENTATION AZOTÉE DE QUATRE ESPÈCES FOURRÈRES :



Roy-grass d'Italie *Lolium multiflorum* Lam.
Dactyle
Dactylis glomerata L.
Luzerne
Medicago sativa L.
Trèfle blanc
Trifolium repens L.

Soutenue publiquement le 5 Novembre 1974 devant la Commission d'examen

Membres du Jury :

Membre J. KAFACHE
Président E. MANGET
Examinateur J. KAFACHE

A mes bien chers

Lida

et

Afchin

1.1. Résumé de l'ouvrage	1
1.1.1. Objectifs de l'ouvrage	1
1.1.2. Méthodologie de l'ouvrage	2
1.1.3. Résultats de l'ouvrage	3
1.1.4. Conclusion de l'ouvrage	4
1.1.5. Annexes de l'ouvrage	5
1.1.5.1. Annexe 1	5
1.1.5.2. Annexe 2	6
1.1.5.3. Annexe 3	7
1.1.5.4. Annexe 4	8
1.1.5.5. Annexe 5	9
1.1.5.6. Annexe 6	10
1.1.5.7. Annexe 7	11
1.1.5.8. Annexe 8	12
1.1.5.9. Annexe 9	13
1.1.6. Références	14
1.1.7. Analyse statistique des résultats	15

S O M M A I R E

Pages

INTRODUCTION	1
--------------------	---

PREMIERE PARTIE

ACTION DE LA NATURE DE L'ALIMENTATION AZOTEE SUR LA PRODUCTION DE MATIERE VEGETALE, ET LA COMPOSITION CHIMIQUE DE CULTURE PURE DES QUATRE ESPECES ETUDIEES.

1.1. MATERIEL ET METHODES	6
1.1.1. <u>Choix du dispositif et du substrat de culture</u>	7
1.1.2. <u>Dispositif de culture</u>	8
1.1.3. <u>Conditions de germination des espèces étudiées</u>	8
1.1.4. <u>Solutions nutritives</u>	10
1.1.4.1. Composition chimique des solutions nutritives ...	10
1.1.5. <u>Mesures et Techniques analytiques</u>	13
1.1.5.1. Hauteur des plantes	13
1.1.5.2. Matière sèche et matière fraîche	13
1.1.5.3. Rapport matière sèche des P.A. / hauteur	13
1.1.5.4. Dosage d'azote total	13
1.1.5.5. Dosage d'azote minéral (nitrique et ammoniacal) .	13
1.1.5.6. Azote organique et taux des protéines	14
1.1.5.7. Dosage du phosphore	14
1.1.5.8. Dosage du potassium	14
1.1.5.9. Dosage des feuilles en chlorophylle	14
1.1.6. <u>Récolte</u>	15
1.1.7. <u>Analyse statistique des résultats</u>	15

	<u>Pages</u>
1.2. RESULTATS ET OBSERVATIONS	16
1.2.1. <u>Ray grass d'Italie</u>	17
1.2.1.1. Hauteur moyenne et sa relation avec la matière sèche des parties aériennes à la première coupe	17
1.2.1.2. Production de matière végétale des parties aériennes du Ray grass	18
1.2.1.3. Composition azotée de la matière sèche des parties aériennes	20
1.2.1.4. Teneur en phosphore de la matière sèche des parties aériennes	24
1.2.1.5. Teneur en potassium de la matière sèche des parties aériennes	25
1.2.1.6. Teneur des feuilles du Ray grass en chlorophylle	27
1.2.1.7. Poids de matière sèche des racines, rapport P.A./racines et la teneur en azote dans les racines du Ray grass	27
1.2.2. <u>Dactyle</u>	29
1.2.2.1. Hauteur moyenne et sa relation avec la matière sèche des parties aériennes	29
1.2.2.2. Production de matière végétale des parties aériennes du Dactyle	30
1.2.2.3. Composition azotée de la matière sèche des parties aériennes du Dactyle	32
1.2.2.4. Teneur en phosphore de la matière sèche des parties aériennes	36
1.2.2.5. Teneur en potassium de la matière sèche des parties aériennes	36
1.2.2.6. Teneur des feuilles du Dactyle en chlorophylle.	38
1.2.2.7. Poids de matière sèche des racines, rapport P.A./ racines et la teneur en azote dans les racines du Dactyle	39
1.2.3. <u>Luzerne</u>	40
1.2.3.1. Hauteur moyenne et sa relation avec la matière sèche des parties aériennes	40
1.2.3.2. Production de matière végétale des parties aériennes de la Luzerne	41
1.2.3.3. Composition azotée de la matière sèche des parties aériennes de la Luzerne	43
1.2.3.4. Teneur en phosphore de la matière sèche des parties aériennes	47
1.2.3.5. Teneur en potassium de la matière sèche des parties aériennes	47

	<u>Pages</u>
1.2.3.6. Teneur des feuilles de la Luzerne en chlorophylle	47
1.2.3.7. Poids de matière sèche des racines, rapport P.A./racines et la teneur en azote dans les racines de la Luzerne	49
1.2.4. <u>Trèfle blanc</u>	51
1.2.4.1. Production de matière végétale des parties aériennes	51
1.2.4.2. Composition azotée de la matière sèche des parties aériennes	53
1.2.4.3. Teneur en phosphore de la matière sèche des parties aériennes	57
1.2.4.4. Teneur en potassium de la matière sèche des parties aériennes	57
1.2.4.5. Teneur des feuilles du Trèfle blanc en chlorophylle	57
1.2.4.6. Poids de matière sèche des racines, rapport P.A./racines et la teneur en azote dans les racines du Trèfle blanc	59
1.3. <u>DISCUSSION ET CONCLUSION</u>	61
1.3.1. <u>Production de matière végétale</u>	62
1.3.2. <u>Composition azotée des plantes en fonction de la composition azotée du milieu nutritif</u>	67
1.3.3. <u>Teneur en phosphore des parties aériennes en fonction de la composition azotée du milieu nutritif</u>	76
1.3.4. <u>Teneur en potassium des parties aériennes en fonction de la composition azotée du milieu nutritif</u>	77

DEUXIEME PARTIE

=====

EFFET DE L'ASSOCIATION GRAMINEE-LEGUMINEUSE SUR LA CROISSANCE ET LA TENEUR EN N , P , K DE CHACUNE DES ESPECES ETUDIEES.

2.1. <u>MATERIEL ET METHODES</u>	81
2.2. <u>RESULTATS ET OBSERVATIONS</u>	86
2.2.1. <u>Nombre de plantes vivantes et hauteur de ces plantes</u> ...	87
2.2.1.1. Ray grass d'Italie	87
2.2.1.2. Dactyle	88

	<u>Pages</u>
2.2.1.3. Luzerne	88
2.2.1.4. Trèfle blanc	89
2.2.2. <u>Influence du mode d'association sur la production de matière végétale des parties aériennes de chaque espèce</u>	94
2.2.2.1. Ray grass d'Italie	94
2.2.2.2. Dactyle	94
2.2.2.3. Luzerne	95
2.2.2.4. Trèfle blanc	95
2.2.3. <u>Comparaison de la production, de l'ensemble des trois coupes des parties aériennes, entre cultures pures et cultures mélangées</u>	104
2.2.4. <u>Influence du mode d'association sur la production de matières azotées des parties aériennes des plantes</u>	107
2.2.5. <u>Influence du mode d'association sur la production de phosphore des parties aériennes des plantes, en fonc- tion de la composition azotée du milieu nutritif</u>	111
2.2.6. <u>Influence du mode d'association sur la production de potassium des parties aériennes des plantes, en fonc- tion de la composition azotée du milieu nutritif</u>	113
2.2.7. <u>Longueur, poids de matière sèche et teneur en azote des racines</u>	115
2.3. <u>DISCUSSION ET CONCLUSION</u>	119
2.3.1. <u>Association Ray grass d'Italie - Luzerne</u>	120
2.3.2. <u>Association Ray grass d'Italie - Trèfle blanc</u>	121
2.3.3. <u>Association Dactyle - Luzerne</u>	122
2.3.4. <u>Association Dactyle - Trèfle blanc</u>	123
CONCLUSION GENERALE	125
=====	
BIBLIOGRAPHIE	131
=====	

I N T R O D U C T I O N

Pendant longtemps, on a pensé que la nutrition azotée des végétaux se faisait exclusivement à partir des composés organiques de l'humus, ensuite, on mit en évidence le rôle nutritif des nitrates, puis de l'ammoniacale.

De nombreux travaux, cités en particulier par COÏC et Coll. (1961), Mac KEE (1962), HEWITT (1966), montrent l'action des différents facteurs qui interviennent lors d'une nutrition nitrique ou ammoniacale.

L'alimentation azotée peut se faire exclusivement, simultanément ou successivement sous forme d'ions NO_3^- ou NH_4^+ , ou d'un mélange nitrique et ammoniacal. COÏC et Coll. (1961) ont montré que l'alimentation azotée exclusivement nitrique, exclusivement ammoniacale ou mixte, pose de nombreux problèmes notamment en ce qui concerne la vitesse d'absorption des ions NO_3^- et NH_4^+ et l'influence du pH sur l'absorption des autres ions. Toutefois, il est admis par de nombreux auteurs que le remplacement d'une partie de l'azote nitrique du milieu par de l'azote ammoniacal, augmente sensiblement le rendement en matière végétale dans la plante. Ainsi, BLANC (1958) a montré que le milieu ammoniaco-nitrique augmente significativement le rendement en matière sèche du Dactyle (Dactylis glomerata L.) et du Maïs (Zea mays L.) par rapport au milieu exclusivement nitrique ou exclusivement ammoniacal.

En 1971, COX et REISENAUER obtiennent des rendements semblables avec le Blé. WEISSEMAN (1964) travaillant sur les feuilles de Tournesol (Helianthus annuus L.) observe également des augmentations de matière sèche et des protéines plus importantes quand l'azote est apporté sous les formes ammoniaco-nitriques que lorsque l'azote est apporté, soit sous forme nitrique, soit sous forme ammoniacal.

En 1972, SCHRADER et Coll. ont étudié l'influence de diverses proportions en azote nitrique et en azote ammoniacal dans le mélange ammoniaco-nitrique sur le Maïs (Zea mays L.) ; ces auteurs concluent que le rendement le plus élevé en matière sèche des parties aériennes appartient aux plantes cultivées sur les milieux ammoniaco-nitriques dont la proportion d'azote ammoniacal est de 50 % ou de 75 % de la totalité d'azote du milieu.

L'absorption et l'assimilation des ions NO_3^- ou NH_4^+ diffèrent sous l'influence de plusieurs facteurs : espèce végétale, pH, oxygène, lumière, etc... Certaines espèces comme les céréales ou la betterave préfèrent l'azote nitrique, d'autres plus rares l'azote ammoniacal. SPRATT et GASSER (1970) ont montré que beaucoup de plantes aux stades jeunes préfèrent l'ammoniaque.

Le pH du milieu de culture a, en particulier, une importance fondamentale sur la possibilité d'utilisation d'azote ammoniacal. GOUNY (1955) a montré que, à pH supérieur à 7, l'azote ammoniacal est bien supporté par la généralité des plantes, tandis qu'en milieu acide, de nombreuses plantes ne peuvent se développer avec une alimentation azotée exclusivement ammoniacale.

La toxicité des ions NH_4^+ libres est toujours à considérer, notamment dans les cultures sur solution nutritive ; pour BANGE, TROMP et HENKES (1965), il s'agit d'un antagonisme d'absorption qui existe entre les ions ammonium et les autres cations alimentaires.

Dans un précédent travail (KAFFACHE 1972), nous avons étudié l'influence de la concentration en azote nitrique, ammoniacal et uréique des solutions nutritives utilisées en culture sur vermiculite, sur la croissance des racines et des parties aériennes de plantules de quatre espèces cultivées Moutarde blanche, Laitue, Luzerne et le Ray grass. L'azote était introduit dans ces essais sous trois formes à doses 0 , 3,5 , 7 , 14 meq/l.

Les résultats obtenus avec ces quatre espèces végétales nous ont montré que :

- L'apport d'azote combiné est indispensable dès les premiers stades, les réserves des semences étant insuffisantes pour couvrir les besoins d'une croissance convenable des plantules jusqu'au 14ème jour, en particulier chez la Laitue et la Moutarde blanche.

- La forme d'azote la plus favorable à la production de matière sèche est la forme nitrique sauf pour le Ray grass qui utilise beaucoup mieux la forme ammoniacale, tandis que l'urée donne des résultats intermédiaires.

- Les doses optimales pour la production de matière sèche des parties aériennes et des racines se situent autour de 7 meq/l d'azote (ou entre 7 et 14 meq/l).

- Le rapport $\frac{\text{parties aériennes}}{\text{racines}}$ est toujours plus élevé en présence d'azote ; ceci est particulièrement net avec l'azote ammoniacal.

Partant des résultats obtenus antérieurement, les expériences entreprises ici étudient l'influence de l'alimentation azotée nitrique, ammoniacale et ammoniaco-nitrique sur la croissance et la composition chimique de quatre espèces fourragères, en cultures pures ou mélangées, sur solutions nutritives. Les solutions nutritives diffèrent entre elles par leurs teneurs relatives en azote nitrique et en azote ammoniacal ; les quatre espèces étudiées sont :

- graminées (- Ray grass d'Italie Lolium multiflorum Lam. CV. Tetraple tiara
 - Dactyle Dactylis glomerata L. CV. Chantemille
 légumineuses (- Luzerne Medicago sativa L. CV. Hypati
 - Trèfle blanc Trifolium repens L. CV. Huia

Les deux légumineuses n'étaient pas inoculées et ne possédaient pas de nodosités fixatrices d'azote au cours des diverses cultures.

Dans une première partie, nous étudierons l'action de six milieux nutritifs, différant par leur proportion en azote nitrique et ammoniacal, sur le rendement et la teneur en N , P , K des cultures pures de ces quatre plantes fourragères, afin de trouver une proportion optimale entre azote nitrique et azote ammoniacal permettant d'obtenir une production maximale de matière végétale. La concentration totale en azote des milieux nutritifs est de 14 meg/l.

L'utilisation avantageuse dans la pratique agricole des associations fourragères nous a amené à étudier, dans une deuxième partie, l'influence de l'association graminée-légumineuse, sur le rendement en matière végétale de chacune des espèces et leur composition minérale en fonction de la composition azotée du milieu nutritif. En effet, dans une association graminée-légumineuse du point de vue fourrager, les légumineuses apportent les protéines et les minéraux nécessaires à la nutrition animale (Ca, Mg) ; d'autre part, les graminées apportent des glucides en abondance, glucides solubles notamment. Du point de vue de l'amélioration du sol, les légumineuses permettent d'accroître le niveau des réserves azotées, grâce aux bactéries de leurs nodosités, et les graminées laissent derrière elles une meilleure structure, grâce à leur chevelu racinaire qui émette les agrégats de terre.

Nous comparerons, au cours de trois coupes, l'effet de l'association graminée-légumineuse sur chacune des espèces, en fonction de l'azote du milieu. La dose d'azote combinée dans ces milieux est constante, et égale à 7 meq/l, seule, la forme d'azote change.

P A R T I E I

EFFETS DE LA NATURE DE L ' ALIMENTATION AZOTEE
SUR LA PRODUCTION DE MATIERE VEGETALE , ET LA
COMPOSITION CHIMIQUE DE CULTURE PURE DES QUATRE
ESPECES ETUDIEES.

1.1. M A T E R I E L E T M E T H O D E

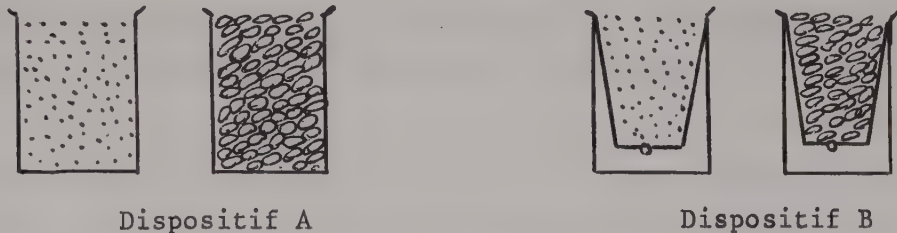
=====

1.1.1. Choix du dispositif et du substrat de culture

Afin de trouver un dispositif convenable pour la suite de cette étude, deux substrats : le sable et la vermiculite, et deux dispositifs de culture, soit quatre traitements, ont été testés à raison de quatre répétitions par traitement :

Dispositif A : sable ou vermiculite placé dans des bécjers de 250 ml en verre, enveloppés de papier noir.

Dispositif B : sable ou vermiculite placé dans des pots de 200 ml en polyéthylène, percés d'un trou de drainage, l'ensemble substrat plus pot placé dans les bécjers de 250 ml en verre, enveloppés de papier noir.



Dans chaque pot, nous repiquons cinq germinations du Ray grass, l'ensemble des pots est partagé en trois lots, chaque lot est alimenté avec une des trois solutions nutritives suivantes :

- 1) Solution nutritive dans laquelle l'azote est apporté uniquement sous forme nitrique à raison de 14 meq/l.
- 2) Solution nutritive dans laquelle l'azote est apporté uniquement sous forme d'ammoniaque à raison de 14 meq/l.
- 3) Solution nutritive sans azote.

Les résultats obtenus montrent que le dispositif B est le plus favorable à la croissance des plantes.

En ce qui concerne la différence entre les deux substrats, nous constatons peu de différence entre le sable et la vermiculite ; cependant, la vermiculite peut intervenir dans la composition du milieu nutritif, puisqu'elle empêche une baisse de pH, notamment en milieu ammoniacal (KAFFACHE 1972). Aussi, le sable (granulométrie approximative = 2 mm), traité à l'acide chlorhydrique ($1/4 V/V$), et rincé jusqu'à élimination de l'acide, a-t-il été choisi.

1.1.2. Dispositif de culture

L'expérience est poursuivie dans les pots de 750 ml (diamètre 8,5 cm) en polyéthylène, percés au fond et remplis de sable. L'ensemble est placé dans les béciers d'un litre (diamètre 10 cm). Les béciers sont extérieurement recouverts par du papier noir, afin d'éliminer l'influence de la lumière sur les racines, et la croissance des algues vertes. Dans chaque pot, nous repiquons 15 germinations ; l'ensemble des pots a été partagé en six lots ; chaque lot a reçu un traitement différent par la proportion en azote nitrique et ammoniacal dans le milieu nutritif. Au départ, les pots sont remplis de solution nutritive, et en cours d'expérience, tous les deux jours, un apport de solution compense l'absorption et l'évaporation ; chaque semaine, la solution est complètement renouvelée, le pH mesuré.

Les cultures ont lieu dans une serre, placée sur le toit du laboratoire, éclairée par la lumière naturelle, et les températures moyennes données dans les résultats de chaque culture sont calculées à partir des relevés journaliers des maximum et minimum des températures de la serre.

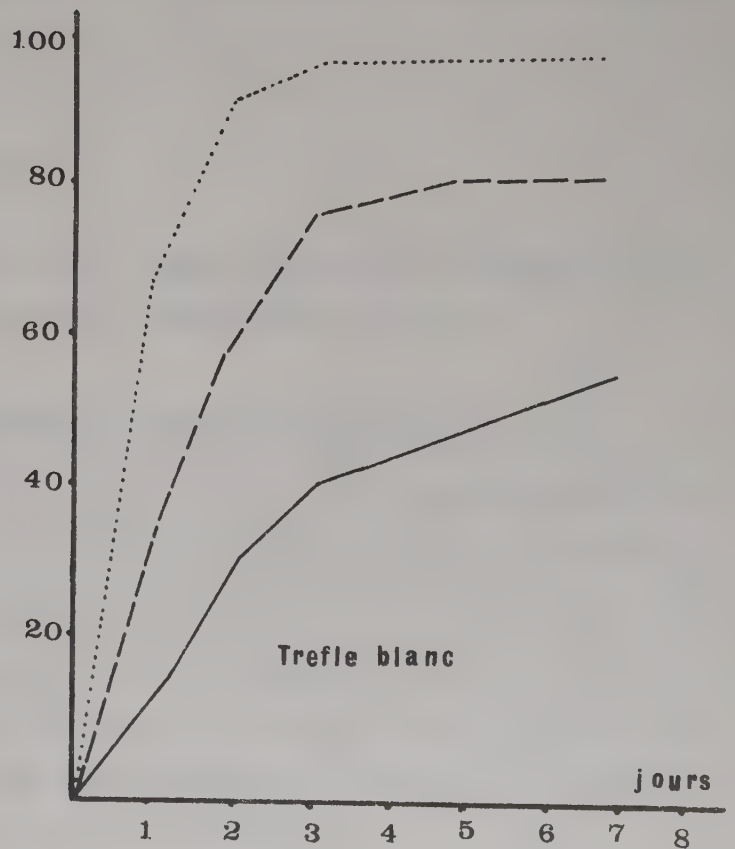
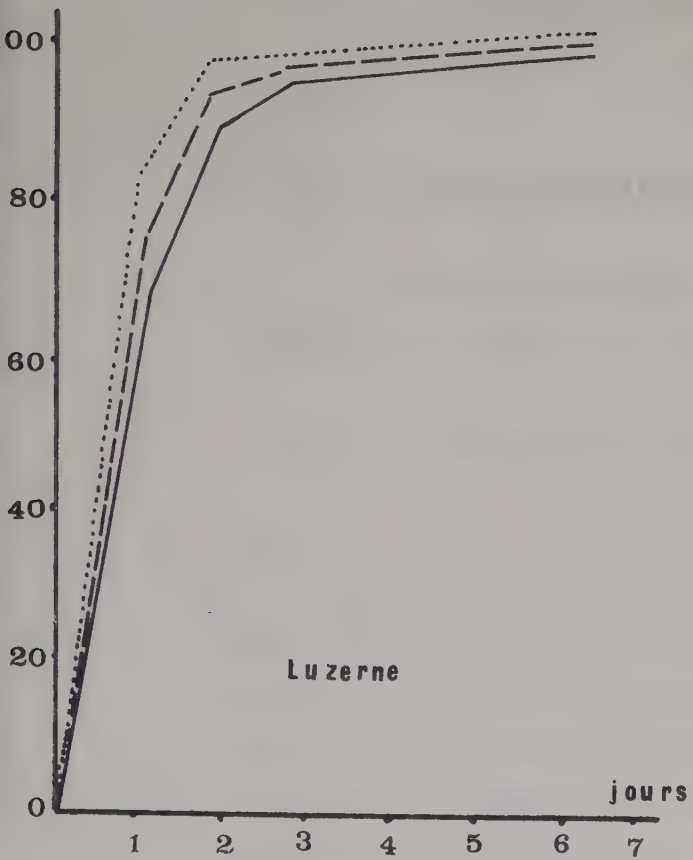
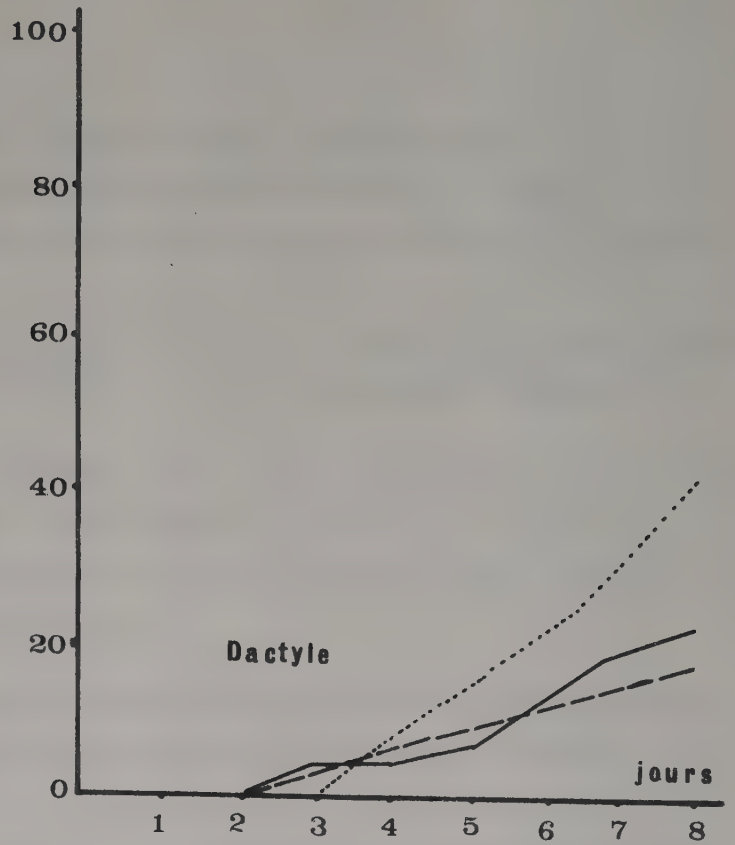
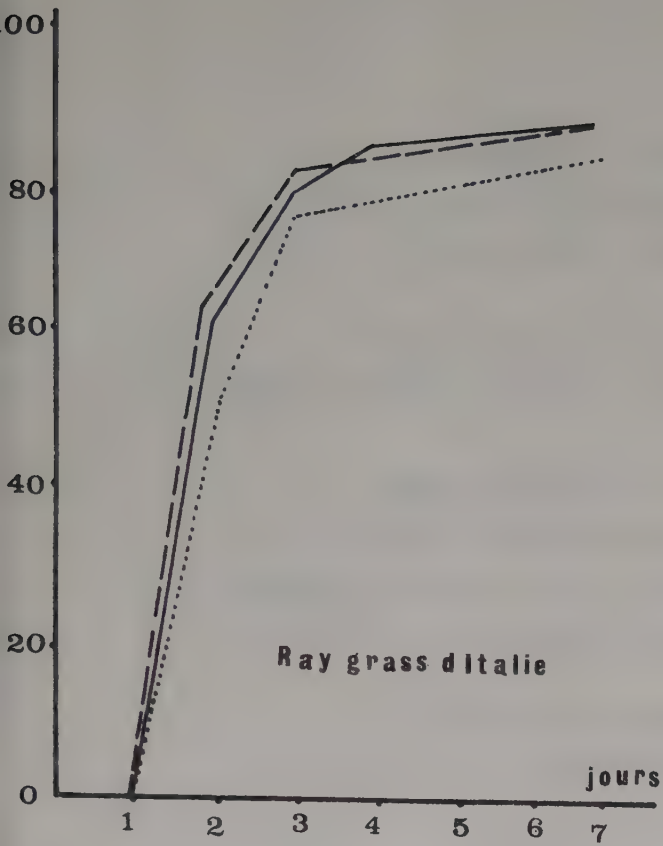
1.1.3. Conditions de germination des espèces étudiées

La germination se fait sur deux épaisseurs de papier Chardin, placées dans les boîtes de Pétri de diamètre 140 mm, humectées d'eau du robinet.

Trois méthodes ont été testées pour rechercher les meilleures conditions de germination ; elles s'appuient sur les règles internationales d'essais de semences (Proc. Int. Sead. Test. Ass. 1966 et 1970) :

Fig 2

Recherche des conditions optimales de germination



— 1^{ere}
 - - - 2^{en}
 3

1ère méthode : les semences sèches, sans traitement préalable, sont mises à germer sur du papier Chardin humecté d'eau ; l'ensemble papier, semences, boîte de Pétri, est placé dans une étuve à +25°C et à l'obscurité.

2ème méthode : Avant d'être placées à l'étuve à +25°C, les semences sont trempées dans l'eau et déposées 24 heures à la chambre froide à +4°C.

3ème méthode : Les semences sont mises à germer dans les conditions de la deuxième méthode, mais la température de l'étuve est réglée avec un programme journalier de 16 heures à +25°C, et 8 heures à +20°C. Les résultats obtenus sont donnés dans la figure 2.

D'après cette figure, le séjour des semences à la chambre froide et la température journalière variable améliorent nettement le pourcentage de germination pour le Dactyle et le Trèfle blanc, et faiblement pour la Luzerne ; la germination du Ray Grass est obtenue selon la deuxième méthode.

1.1.4. Solutions nutritives

La concentration de chaque élément majeur est exprimée en milli-équivalent par litre ; le fer et les oligo-éléments en p.p.m.

1.1.4.1. Composition chimique des solutions nutritives

Les plantes sont alimentées par une des solutions nutritives suivantes : nitrique, ammoniac-nitriques (diverses proportions des ions NO_3^- et NH_4^+) ou ammoniacale. A partir d'une concentration constante en azote total combiné de 14 meq/l, on prépare six milieux nutritifs différant essentiellement par leurs concentrations en ions nitrate et en ions ammonium (tableau 1). La dose de 14 meq/l d'azote est choisie d'après les résultats obtenus antérieurement (1972), et elle correspond à peu près à la dose de la solution d'HOAGLAND, qui est de 15 meq/l d'azote.

Tableau 1

Composition azotée des milieux, exprimée en meq/l

milieu Forme d'azote	A	B	C	D	E	F
NO_3^-	14	10,5	7 ($\text{NH}_4^+ \text{NO}_3^-$)	7 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, Na NO_3	3,5	0
NH_4^+	0	3,5	7	7 NH_4Cl , (NH_4) ₂ SO_4	10,5	14

La différence entre les milieux C et D réside dans la nature de la source azotée, la solution C contient $\text{NH}_4^+ \text{NO}_3^-$, tandis que la solution D renferme l'azote sous forme $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, Na NO_3 , NH_4Cl et (NH_4)₂ SO_4 .

La comparaison entre nutrition nitrique et nutrition ammoniacale présente toujours des difficultés ; d'après plusieurs auteurs : CLARK (1936), PUCHER et Coll. (1947), GOUNY (1955), CHOUTEAU (1960), COÏC et Coll. (1961), il est impossible d'avoir cations et anions en concentration égale dans le milieu nitrique et ammoniacal, puisque l'azote est apporté dans un cas sous forme d'anions NO_3^- et dans l'autre cas sous forme de cations NH_4^+ ; cela risque de provoquer une absorption préférentielle des cations sur les anions en milieu ammoniacal, et l'inverse en milieu nitrique.

Les six solutions utilisées ici (tableau 2) diffèrent par la présence ou l'absence des ions Na^+ et Cl^- , et par leur concentration en ion SO_4^{--} (de 4,5 à 11,5 meq/l).

Pour les oligo-éléments, nous utilisons la formule A_4 d'ARNON (1938) (cité par HEWITT, 1966) :

B = 0,5 p.p.m. Zn = 0,05 p.p.m.

Mn = 0,5 p.p.m. Cu = 0,02 p.p.m.

Mo = 0,1 p.p.m.

Le fer est apporté sous forme de chelat (EDTA) à raison de 10 p.p.m., et pour limiter autant que possible les variations de pH entre solutions nitriques (élévation du pH) et solutions ammoniacales (baisse du pH), toutes les solutions nutritives sont additionnées de 1,2 g/l de Ca CO_3 , le pH des solutions neuves est environ 6.

Tableau 2

Composition des solutions en éléments majeurs

Solution A : NO_3^- 14 meq/l
 NH_4^+ 0

anions cations	H_2PO_4^-	Cl^-	SO_4^{--}	NO_3^-	Total
K^+	2		2,5		4,5
Ca^{++}				5	5,0
Mg^{++}			2		2,0
Na^+				9	9,0
NH_4^+					-
Total	2,0	-	4,5	14,0	20,5

Solution F : NO_3^- 0 meq/l
 NH_4^+ 14

anions cations	H_2PO_4^-	Cl^-	SO_4^{--}	NO_3^-	Total
K^+	2,0		2,5		4,5
Ca^{++}		5,0			5,0
Mg^{++}			2,0		2,0
Na^+					-
NH_4^+		7,0	7,0		14,0
Total	2,0	12,0	11,5	-	25,5

Solution B : NO_3^- 10,5 meq/l
 NH_4^+ 3,5

anions cations	H_2PO_4^-	Cl^-	SO_4^{--}	NO_3^-	Total
K^+	2,0		2,5		4,5
Ca^{++}				5,0	5,0
Mg^{++}			2,0		2,0
Na^+				2,0	2,0
NH_4^+				3,5	3,5
Total	2	-	4,5	10,5	17,0

Solution E : NO_3^- 3,5 meq/l
 NH_4^+ 10,5

anions cations	H_2PO_4^-	Cl^-	SO_4^{--}	NO_3^-	Total
K^+	2		2,5		4,5
Ca^{++}		5			5
Mg^{++}			2		2
Na^+					-
NH_4^+		3,5	3,5	3,5	10,5
Total	2	8,5	8,0	3,5	22,0

Solution C : NO_3^- 7 meq/l
 NH_4^+ 7

anions cations	H_2PO_4^-	Cl^-	SO_4^{--}	NO_3^-	Total
K^+	2,0		2,5		4,5
Ca^{++}		5,0			5,0
Mg^{++}			2,0		2,0
Na^+					
NH_4^+				7,0	7,0
Total	2,0	5,0	4,5	7,0	18,5

Solution D : NO_3^- 7 meq/l
 NH_4^+ 7

anions cations	H_2PO_4^-	Cl^-	SO_4^{--}	NO_3^-	Total
K^+	2,0		2,5		4,5
Ca^{++}				5,0	5,0
Mg^{++}			2,0		2,0
Na^+				2,0	2,0
NH_4^+		2,0	5,0		7,0
Total	2	2	9,5	7	20,5

1.1.5. Mesures et Techniques analytiques

1.1.5.1. Hauteur des plantes

La hauteur des plantes est mesurée en millimètre à partir du niveau du sable, au moment de la première coupe.

1.1.5.2. Matière fraîche, matière sèche

Les parties aériennes des plantes sont coupées et pesées (matière fraîche) ; le poids de matière sèche est déterminé après passage dans une étuve ventilée, à la température de $+80^{\circ}\text{C}$ jusqu'à poids constant, puis la teneur en matière sèche est calculée à partir des données en matière sèche et en matière fraîche.

1.1.5.3. Le rapport matière sèche des parties aériennes/hauteur est calculé à partir des données de matière sèche, exprimées en milligramme, et la hauteur des plantes en millimètre.

1.1.5.4. Dosage d'azote total

Le dosage d'azote total a été effectué par la méthode de KJELDAHL : minéralisation de 500 mg de poudre végétale par 15 ml d'acide sulfurique concentré, additionné de 3g de catalyseur de minéralisation (composition : 8g Sélénium, 8g Sulfate de Cuivre, 500g Sulfate de Sodium). L'ammoniaque distillé dans un appareil BUCHI est dosé par H Cl N/28.

1.1.5.5. Dosage de l'azote minéral (azote nitrique et azote ammoniacal)

Pour le dosage de l'azote nitrique et de l'azote ammoniacal, nous avons utilisé la méthode décrite par BLANC (1958,1959) ; l'extraction de l'azote soluble est effectuée sur 2g de poudre végétale par 20 ml d'alcool éthylique, à 50°C . Le mélange est maintenu au bain-marie à $+80^{\circ}\text{C}$ pendant 5 minutes, puis filtré et lavé à l'eau chaude ; après refroidissement, l'extrait est amené à 100 ml. Pour le dosage de l'azote ammoniacal, les 100 ml d'extrait filtré sont distillés en présence de 1,2 g de Magnésie calcinée, et l'azote ammoniacal est dosé suivant la technique utilisée pour le dosage de l'azote total. Puis, lorsque la distillation de l'azote ammoniacal est terminée, pour le dosage de l'azote nitrique, on ajoute au résidu de distillation 0,5g d'alliage de DEWARDA, ce dernier réduisant l'azote nitrique en azote ammoniacal ; on dose par distillation l'azote ammoniacal formé, comme précédemment.

1.1.5.6. Azote organique et taux des protéines

L'azote organique est calculé par différence entre l'azote total et l'azote minéral.

Le taux des protéines est calculé en multipliant le taux d'azote total par le coefficient 6,25.

1.1.5.7. Dosage du phosphore

La méthode choisie pour le dosage du phosphore est la spectrophotométrie. L'extraction a été faite sur la cendre végétale par les méthodes de HUMPHRIES (1956) et les laboratoires membres du C.I.I.E.T.A.D.F. (Comité Inter-Instituts d'Etudes des Techniques Analytiques du Diagnostic Foliaire) (1969).

Le phosphore est dosé au spectrophotomètre (BECKMAN D.B.), sous forme de complexe phosphomolybdique, en présence de chlorure stannieux et en milieu sulfurique. La coloration bleue est mesurée une heure après le mélange des réactifs à 550 nm.

1.1.5.8. Dosage de potassium

Cet élément est dosé par photométrie de flamme (photomètre de flamme BECKMAN D.U.). Le dosage porte sur le même extrait de cendre qui a servi au dosage du phosphore.

1.1.5.9. Dosage des feuilles en chlorophylle

La détermination de la teneur en chlorophylle a été faite sur l'extrait des feuilles fraîches dans l'acétone à 80 % ; cet extrait est réalisé de la façon suivante :

1 gramme de feuilles fraîches est broyé dans 200 ml d'acétone à 80 %, puis l'ensemble est filtré. Les mesures sont faites à l'aide du spectrophotomètre de BECKMAN D.B. à deux longueurs d'ondes : 663 nm et 645 nm selon Mac KINNEY (1941), ARNON (1949) et BORRIS et Coll. (1968). Ces auteurs ont calculé la teneur totale en chlorophylle à partir des valeurs de l'extinction des solutions de chlorophylle brute, mesurées à deux longueurs d'ondes : 663 nm et 645 nm ; voici leur formule :

$$\text{Chl. a} = 12,7_{663 \text{ nm}} - 2,69_{645 \text{ nm}}$$

$$\text{Chl. b} = 22,9_{645 \text{ nm}} - 4,68_{663 \text{ nm}}$$

$$\text{Chl. totale} = 8,02_{663 \text{ nm}} + 20,2_{645 \text{ nm}}$$

1.1.6. Récolte

Trois coupes ont été effectuées au cours de cette expérience. La première a eu lieu quatre semaines après la germination, la deuxième coupe est effectuée 15 jours après la première, enfin la troisième coupe 15 jours après la deuxième.

A chaque coupe, les parties aériennes sont coupées de 1,2 cm au dessus du collet, et en fin d'expérience, les racines des plantes sont séparées des parties aériennes ; elles sont nettoyées et débarrassées des particules de sable par trappage dans l'eau.

1.1.7. Analyse statistique des résultats

Quatre répétitions étaient effectuées à chaque traitement et les analyses statistiques sont faites en utilisant l'analyse de variance (la méthode des blocs), décrite par LECOMPT (1965).

1.2. RESULTAT ET OBSERVATION

=====

1.2.1. Ray grass d'Italie (Lolium multiflorum Lam.)

Les températures moyennes relevées au cours de culture sont de +24°C pour la 1ère coupe, de +25°C pour la deuxième coupe et de +27°C pour la troisième coupe.

1.2.1.1. Hauteur moyenne et sa relation avec la matière sèche des parties aériennes (à la 1ère coupe)

De l'examen du tableau 3, il ressort que :

- La hauteur des cultures sur milieu ammoniacal est nettement plus faible que sur les cinq autres milieux ; parmi ceux-ci, les milieux ammoniaco-nitriques assurent une croissance en hauteur plus forte que le milieu nitrique.

Tableau 3

Résultats de la 1ère coupe.

test pour $\bar{h}$					Composition azotée du milieu		Hauteur moyenne mm	m.s. de P.A. hauteur mg/mm
B	C	D	E	F	NO ₃	meq/l NH ₄ ⁺		
xx		x		xx	A	14	0	357
				xx	B	10,5	3,5	405
				xx	C	7	7	387
				xx	D	7	7	401
				xx	E	3,5	10,5	386
					F	0	14	305
								4,8

x

xx

non significative
significative
hautement significative

$\bar{h}$

p.p. ds 5 % = 31,9

p.p. ds 1 % = 44,2

- En ce qui concerne le rapport matière sèche des parties aériennes/hauteur, il est le plus faible dans le cas des plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal.

1.2.1.2. Production de matière végétale des parties aériennes du Ray grass

A la première coupe, les milieux ammoniac-nitriques sont beaucoup plus favorables à la production de matière fraîche de Ray grass que le milieu exclusivement nitrique ou exclusivement ammoniacal (tableau 4). La différence est plus importante entre une culture sur milieu ammoniac-nitrique et une culture sur milieu ammoniacal, qu'entre une culture sur milieu ammoniac-nitrique, et une culture sur milieu nitrique.

Pour le rendement en matière sèche, les milieux ammoniac-nitriques donnent les rendements plus élevés que le milieu exclusivement ammoniacal, ou exclusivement nitrique. Le meilleur rendement est obtenu sur le milieu D ; mais il n'y a pas de différence significative entre les rendements des cultures sur les quatre milieux ammoniac-nitriques. Par contre, la différence est significative entre culture sur milieu D et culture sur milieu A, et hautement significative entre culture sur milieu D et culture sur milieu F.

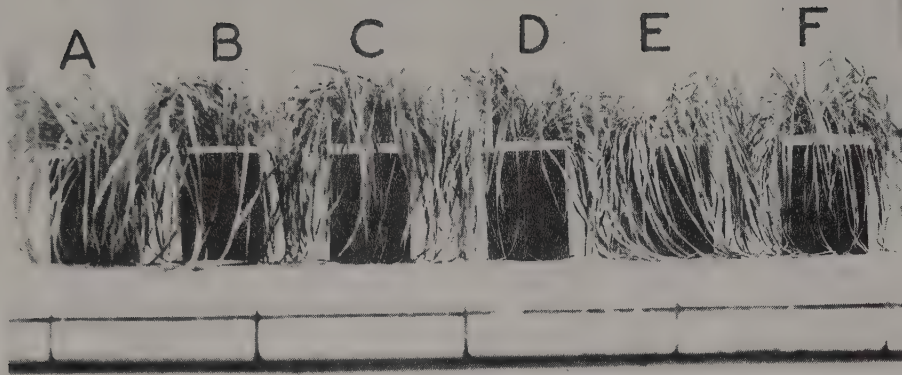
A la deuxième coupe, nous observons peu de différence de rendement en matière végétale entre les plantes cultivées sur les six milieux différents, à l'exception d'une différence significative qui existe entre les plantes traitées par le milieu D et celles cultivées sur le milieu F. Le meilleur rendement est toujours observé dans le cas de culture sur milieu D.

D'après les résultats obtenus à la troisième coupe, nous constatons une certaine différence de rendement en matière fraîche et en matière sèche, entre les parties aériennes des plantes cultivées sur les différents milieux nutritifs ; les calculs statistiques montrent que cette différence est significative entre C et F, et hautement significative entre D et F. Le meilleur rendement, comme pour les deux coupes précédentes, a été obtenu sur le milieu D (tableau 4).

Au total des trois coupes, le Ray grass cultivé sur le milieu D donne le rendement le plus élevé en matière végétale, et celui cultivé sur milieu exclusivement ammoniacal le moins élevé.

Enfin, la teneur en matière sèche des plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal, est toujours la plus élevée.

Culture de Ray-grass



1ère coupe



2ème coupe



3ème coupe

NO ₃ ⁻	14	10,5	7	7	3,5	0	m eq/l
NH ₄ ⁺	0	3,5	7	7	10,5	14	

Production de matière végétale des parties aériennes du Ray grass
(moyenne d'un pot)

Composition azotée du milieu NO_3^- meq/l NH_4^+		1ère coupe			2ème coupe			3ème coupe			Total des 3 coupes		
		m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.
A	14	2,57	22,88	11,2	1,70	14,25	11,9	2,17	14,99	14,5	6,44	52,12	12,3
B	10,5	2,98	29,17	10,2	2,00	17,62	11,3	2,46	19,41	12,7	7,44	66,20	11,2
C	7	2,57	25,57	10,1	1,72	15,10	11,4	3,03	25,27	12,0	7,32	65,94	11,1
D	7	3,06	30,81	9,9	2,24	20,65	10,9	3,14	25,42	12,4	8,44	76,88	10,9
E	3,5	2,86	27,16	10,5	2,06	18,07	11,4	2,47	18,50	13,4	7,39	63,73	11,5
F	0	2,15	17,19	12,5	1,46	11,57	12,6	1,57	9,92	15,8	5,18	38,68	13,3

m.s. | p.p. ds 5 % = 0,43
| p.p. ds 1 % = 0,59

B	C	D	E	F	
		x			A
					B
			x		C
					D
					E
					F

Test statistique pour le rendement en m.s.

m.s. | p.p. ds 5 % = 0,64
| p.p. ds 1 % = 0,89

B	C	D	E	F	
					A
					B
					C
				x	D
					E
					F

m.s. | p.p. ds 5 % = 1,04
| p.p. ds 1 % = 1,45

B	C	D	E	F	
					A
					B
				xx	C
				xx	D
					E
					F

☐ différence non significative
☒ différence significative
☒ différence hautement significative

1.2.1.3. Composition azotée de la matière sèche des parties aériennes du Ray grass

Les tableaux 5, 6, 7 représentent la composition azotée de la matière sèche des parties aériennes du Ray grass, aux trois coupes.

Azote total :

Les résultats de la première coupe ne montrent aucune différence significative de teneur en azote total dans les parties aériennes du Ray grass cultivé sur les différents milieux azotés ; c'est-à-dire que le remplacement progressif de l'azote nitrique du milieu par l'azote ammoniacal, a peu d'action sur la teneur en azote total des parties aériennes du Ray grass, jusqu'à l'âge de quatre semaines ; mais, la quantité d'azote total de l'ensemble des parties aériennes des plantes d'un pot est maximale pour les cultures sur milieu D. A partir de la deuxième coupe, nous observons une différence de teneur en azote total du Ray grass, selon les milieux nutritifs ; le pourcentage le plus élevé en azote total, à la deuxième coupe, appartient aux cultures sur les milieux C et D, c'est-à-dire les milieux contenant 7 meq/l des ions NO_3^- et 7 meq/l des ions NH_4^+ . Les plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal ont la teneur la moins élevée en azote total ; comparée aux autres traitements, la différence apparaît hautement significative.

Enfin, à la troisième coupe, la teneur en azote total est nettement plus élevée dans les parties aériennes des plantes cultivées sur les milieux ammoniacal-nitriques, ceci quelque soit la proportion de chacune des formes d'azote dans ces milieux.

Azote organique :

Les résultats obtenus pour chacune des trois coupes montrent que la présence des ions ammonium dans le milieu nutritif détermine une augmentation de la teneur en azote organique dans les parties aériennes du Ray grass. Cette augmentation est assez régulière et proportionnelle à la concentration en azote ammoniacal du milieu nutritif ; tandis que nous avons mis en évidence que les plantes cultivées sur milieu nitrique contiennent plus d'azote minéral que celles cultivées sur milieu ammoniacal.

D'autre part, à chaque coupe, la teneur en azote organique des plantes diminue légèrement par rapport à celle de la coupe précédente : les plantes jeunes contiennent un pourcentage plus élevé en azote organique que les plantes plus âgées.

Composition azotée et taux de protéines de la matière sèche des parties aériennes du Ray grass à la lère coupe (1).

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. total		N. organique		N. Minéral			Taux des protéines	
			%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	%	quantité (1) mg
NO ₃ ⁻	14	0	5,15	132,35	4,01	103,18	0,010	0,257	1,125	32,19	827,2
	0	2,57									
NH ₄ ⁺	3,5	2,98	5,14	153,17	4,13	124,11	0,025	0,745	0,950	32,13	957,3
	0	2,57									
NO ₃ ⁻	7	2,57	5,14	131,32	4,16	106,24	0,025	0,642	0,950	32,13	820,8
	0	2,57									
NH ₄ ⁺	7	3,06	5,25	160,65	4,46	136,63	0,010	0,306	0,775	32,81	1004,1
	0	2,86									
NO ₃ ⁻	3,5	10,5	5,06	144,71	4,57	132,68	0,032	0,590	0,400	31,62	904,4
	0	2,15									
NH ₄ ⁺	14	2,15	5,14	110,51	5,04	108,46	0,065	1,400	0,030	32,13	690,7
	0	2,15									

(1) Moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Test statistique pour % d'azote total

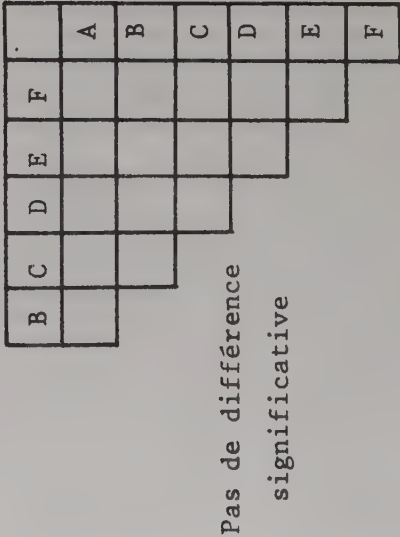
différence non significative

x

 différence significative

xx

 différence hautement significative



Composition azotée et taux des protéines de la matière sèche
des parties aériennes du Ray grass à la 2ème coupe (1).

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. total		N. organique		N. Minéral ammoniacal		nitrique		Taux des protéines	
			%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg
A	14	0	4,65	79,05	3,56	60,64	0,008	0,14	1,075	18,27	29,06	494,1
B	10,5	3,5	4,85	97,00	4,12	82,50	0,025	0,50	0,700	14,00	30,31	606,3
C	7	1,72	5,02	86,34	4,39	75,43	0,022	0,38	0,612	10,53	31,37	539,6
D	7	2,24	4,96	111,10	4,37	97,89	0,010	0,22	0,580	12,99	31,00	694,4
E	3,5	10,5	4,67	96,20	4,28	88,22	0,025	0,52	0,362	7,46	29,19	601,3
F	0	1,46	4,40	64,24	4,31	62,93	0,065	0,95	0,025	0,36	27,50	401,5

(1) Moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Test statistique pour % d'azote total

- ☐ différence non significative
- ☒ différence significative
- ☒ différence hautement significative

B	C	D	E	F	
x	xx	xx		x	A
				xx	B
			xx	xx	C
			xx	xx	D
				xx	E
					F

p.p. ds 5 % = 0,19

p.p. ds 1 % = 0,26

Composition azotée et taux des protéines de la matière sèche
des parties aériennes du Ray grass à la 3ème coupe (1).

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. total		N. organique		N. Minéral ammoniacal			nitrique		Taux des protéines		
			%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg		
NO ₃ ⁻ meq/l NH ₄ ⁺	A	14	0	2,17	4,22	91,57	3,20	69,20	0,006	0,13	1,025	22,24	26,37	572,4
	B	10,5	3,5	2,46	4,60	113,16	3,81	94,32	0,010	0,24	0,775	18,60	28,75	707,3
	C	7	7	3,03	4,56	137,17	4,15	121,37	0,014	0,43	0,400	12,12	28,50	837,0
	D	7	7	3,14	4,56	143,18	4,05	127,20	0,010	0,28	0,500	15,70	28,50	894,9
	E	3,5	10,5	2,47	4,57	112,87	4,31	106,35	0,016	0,35	0,250	6,17	28,56	704,4
	F	0	14	1,57	4,37	68,60	4,28	67,14	0,070	1,10	0,023	0,36	27,31	428,7

(1) Moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Test statistique pour % d'azote total

- ☐ différence non significative
- ☒ différence significative
- ☒ différence hautement significative

B	C	D	E	F	
xx	xx	xx	xx		A
				x	B
				x	C
				x	D
				x	E
					F

p.p. ds 5 % = 0,17

p.p. ds 1 % = 0,24

Azote minéral :

A la première coupe, le pourcentage en azote nitrique des parties aériennes est proportionnel à la concentration en azote nitrique du milieu nutritif. Nous observons le même phénomène pour l'azote ammoniacal : les plantes cultivées sur le milieu exclusivement ammoniacal contiennent le pourcentage le plus élevé en azote ammoniacal ; mais la quantité d'azote ammoniacal est très faible et presque négligeable.

Aux deuxième et troisième coupes, le remplacement d'une partie ou de la totalité de l'azote nitrique par l'azote ammoniacal, détermine une diminution de la teneur en azote nitrique, et une augmentation de la teneur en azote ammoniacal dans les parties aériennes du Ray grass, pour atteindre un maximum en azote ammoniacal sur milieu exclusivement ammoniacal.

Toutefois, pour chacune des trois coupes, les variations de teneur en azote nitrique et en azote minéral des parties aériennes sont essentiellement liées aux variations de teneur en nitrate des milieux nutritifs.

1.2.1.4. Teneur en phosphore de la matière sèche des parties aériennes du Ray grass

Dans le tableau 8, sont groupés les résultats de dosage de phosphore de trois coupes des parties aériennes du Ray grass. Dans chacune des trois coupes, nous constatons que la teneur en phosphore des parties aériennes augmente avec la concentration en azote ammoniacal du milieu nutritif, pour atteindre un maximum sur milieu exclusivement ammoniacal.

Toutefois, les plantes jeunes (1ère coupe) contiennent beaucoup plus de phosphore que les plantes plus âgées (3ème coupe).

Tableau 8

Pourcentage et quantité de phosphore (de l'ensemble des plantes d'un pot) dans la matière sèche des parties aériennes du Ray grass.

Composition azotée du milieu			1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe	
	NO_3^- meq/l	NH_4^+	%	(1) mg	%	(1) mg	%	(1) mg
A	14	0	0,47	12,08	0,39	6,63	0,33	7,16
B	10,5	3,5	0,55	16,39	0,41	8,20	0,36	8,86
C	7	7	0,61	15,67	0,42	7,22	0,40	12,12
D	7	7	0,57	17,44	0,45	10,08	0,35	10,99
E	3,5	10,5	0,65	18,59	0,46	9,48	0,39	9,63
F	0	14	0,70	15,05	0,50	7,30	0,43	6,75

(1) quantité en mg dans l'ensemble des plantes d'un pot.

1.2.1.5. Teneur en potassium de la matière sèche des parties aériennes du Ray grass

Les résultats, groupés dans le tableau 9, montrent qu'à la première coupe du Ray grass, les cultures sur milieux ammoniaco-nitriques dont B, C, D, contiennent un pourcentage en potassium plus élevé que celles sur milieu exclusivement nitrique, ou exclusivement ammoniacal, bien que les différences observées ne soient pas significatives.

Puis, à partir de la deuxième coupe, la teneur en potassium des plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal, devient significativement moins élevée que celle des autres plantes. Ceci met en évidence l'effet défavorable du milieu exclusivement ammoniacal, sur l'absorption de potassium, ce qui illustre, si besoin est, la compétition de l'absorption entre les ions NH_4^+ et K^+ . Mais, dès qu'une partie des ions ammonium du milieu est remplacée par les ions nitrate, la teneur en potassium augmente dans les parties aériennes du Ray grass. La concentration la plus forte en potassium appartient aux plantes cultivées sur milieu B, c'est-à-dire le milieu contenant 3,5 meq/l d'azote ammoniacal et 10,5 meq/l d'azote nitrique.

Pourcentage et quantité de potassium (mg par pot) dans la matière sèche des parties aériennes du Ray grass

Composition azotée du milieu NO ₃ ⁻ meq/l NH ₄ ⁺		1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe		
		% de K/m.s.	quantité de K par pot mg	% de K/m.s.	quantité de K par pot mg	% de K/m.s.	quantité de K par pot mg	
A	14	0	4,80	123,36	4,00	68,00	3,63	78,77
B	10,5	3,5	5,11	152,28	4,67	93,40	3,94	96,92
C	7	7	5,16	132,61	4,04	69,49	3,94	119,38
D	7	7	4,95	151,47	4,16	93,18	3,66	114,92
E	3,5	10,5	4,72	134,99	4,06	83,64	3,70	91,39
F	0	14	4,72	101,69	3,68	57,73	3,68	57,78

% de K : non significative

% de K P.P. ds 5%=0,23
P.P. ds 1%=0,32

% de K P.P. ds 5%=0,19
P.P. ds 1%=0,27

B	C	D	E	F	
					A
					B
					C
					D
					E
					F

B	C	D	E	F	
xx				xx	A
	xx	xx	xx	xx	B
				xx	C
				xx	D
				xx	E
				xx	F

B	C	D	E	F	
x	x				A
		x		x	B
		x		x	C
					D
					E
					F

test statistique
pour % de K

☐ différence non significative
☒ différence significative
☒ différence hautement significative

A la troisième coupe, les différences de teneur en potassium des parties aériennes du Ray grass s'atténuent ; cependant, nous constatons une différence significative entre la teneur en potassium des plantes cultivées sur les milieux B ou C, et celle des plantes cultivées sur d'autres milieux.

1.2.1.6. Teneur des feuilles du Ray grass en chlorophylle (1ère coupe)

Les teneurs en chlorophylle, calculées à partir des résultats de mesures spectrophotométriques, sont indiquées dans le tableau 10. La présence d'azote ammoniacal, dans le milieu nutritif, augmente la teneur en chlorophylle dans les feuilles du Ray grass. Ce sont les plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal qui ont la teneur la plus élevée en chlorophylle.

Tableau 10

Teneur des feuilles du Ray grass en chlorophylle

Composition azotée du milieu NO_3^- meq/l NH_4^+			Chl. a mg/g m.f.	Chl. b mg/g m.f.	Chl. totale mg/g m.f.	Rapport $\frac{\text{Chl. a}}{\text{Chl. b}}$
A	14	0	1,46	0,64	2,10	2,25
B	10,5	3,5	1,64	0,76	2,40	2,16
C	7	7	1,59	0,72	2,31	2,18
D	7	7	1,50	0,68	2,18	2,22
E	3,5	10,5	1,62	0,72	2,34	2,24
F	14	14	1,90	0,84	2,74	2,27

1.2.1.7. Poids de matière sèche, rapport parties aériennes/racines
teneur en azote dans les racines du Ray grass

En fin de culture, les racines sont séparées des parties aériennes, sont nettoyées et séchées dans les mêmes conditions que les parties aériennes.

Tableau 11

Résultats des racines du Ray grass

test pour m.s.					Composition azotée du milieu		m.s. des racines (un pot)	Rapport 3 coupes	Azote total	
B	C	D	E	F		NO_3^- meq/l	NH_4^+	$\frac{\text{P.A.}}{\text{racines}}$	% de la m.s.	quantité par pot mg
				x	A	14	0	0,624	10,3	9,05
				xx	B	10,5	3,5	0,814	9,1	11,80
				x	C	7	7	0,655	11,2	9,17
				xx	D	7	7	0,775	10,9	10,85
				x	E	3,5	10,5	0,634	11,6	8,88
					F	0	14	0,334	15,5	5,68

p.p. ds 5 % = 0,288
pour m.s. des racines p.p. ds 1 % = 0,398

- ☐ non significative
- ☒ significative
- ☒ hautement significative

Les résultats obtenus (tableau 11) montrent que la présence de l'azote ammoniacal dans le milieu nutritif augmente légèrement la production des racines du Ray grass ; mais le milieu exclusivement ammoniacal diminue significativement cette production. La production des racines est maximale sur le milieu B, minimale sur le milieu F.

Quand au rapport matière sèche des parties aériennes (total des 3 coupes) / matière sèche des racines, nous constatons qu'il atteint un maximum avec le milieu exclusivement ammoniacal.

D'autre part, au niveau des racines, la teneur en azote total ne semble pas être influencée par le mode d'alimentation. Cependant, les racines des plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal, ont une teneur en azote total plus élevée que celles des autres plantes.

1.2.2. Dactyle (Dactylis glomerata L.)

Les températures moyennes relevées au cours des cultures sont de +27°C pour la première coupe, de +30°C pour la deuxième coupe et de +25°C pour la troisième coupe.

1.2.2.1. Hauteur moyenne du Dactyle, et sa relation avec la matière sèche des parties aériennes, à la première coupe

Le tableau 12 montre la hauteur moyenne du Dactyle à la première coupe et sa relation avec la matière sèche des parties aériennes.

Les milieux ammoniaco-nitriques sont les plus favorables à la croissance en hauteur du Dactyle. La croissance la moins élevée est observée pour les cultures sur milieu exclusivement ammoniacal. Comparée aux autres traitements, la différence est hautement significative.

Tableau 12

Résultats de la 1ère coupe

test pour $\bar{h}$					Composition azotée du milieu NO_3 meq/l NH_4^+		Hauteur moyenne mm	m.s. des P.A. hauteur mg/mm
B	C	D	E	F				
					A	14 0	263	4,3
					B	10,5 3,5	281	5,0
					C	7 7	292	5,0
					D	7 7	295	5,3
					E	3,5 10,5	295	5,6
					F	0 14	229	3,6

- ☐ non significative
- ☒ significative
- ☒ hautement significative

$\bar{h}$

p.p. ds 5 % = 35,2

p.p. ds 1 % = 48,7

Le rapport matière sèche des parties aériennes/hauteur est minimal dans le cas des cultures sur milieu exclusivement ammoniacal.

1.1.2.2. Production de matière végétale des parties aériennes du Dactyle

A la première coupe, la production de matière végétale du Dactyle cultivé sur les quatre milieux ammoniaco-nitriques, est supérieure à celle obtenue sur le milieu exclusivement nitrique ou exclusivement ammoniacal. Il y a une différence significative de production entre des cultures sur les milieux ammoniaco-nitriques, et celle des cultures sur le milieu exclusivement nitrique ou exclusivement ammoniacal (tableau 13). A la deuxième coupe, la croissance aérienne du Dactyle est plus faible qu'à la première coupe, et il y a une forte diminution de croissance des plantes cultivées sur milieu C (sur quatre répétitions, deux n'ont pas repoussé à la deuxième coupe). Dans cette coupe, le rendement maximum, en matière fraîche et en matière sèche, est obtenu sur les milieux B et D, c'est-à-dire les milieux dans lesquels l'ion ammonium représente 25 % ou 50 % de la totalité d'azote combiné. Le rendement le moins élevé appartient aux plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal.

A la troisième coupe, les résultats sont voisins de ceux obtenus à la deuxième coupe ; si l'on excepte les résultats obtenus sur le milieu C,

Culture de Dactyle



1ère coupe



2ème coupe

NO_3^-	14	10,5	7	7	3,5	0	meq/l
NH_4^+	0	3,5	7	7	10,5	14	

Production de matière végétale des parties aériennes de Dactyle
(moyenne d'un pot)

Composition azotée du milieu NO ₃ ⁻ meq/l NH ₄ ⁺		1ère coupe			2ème coupe			3ème coupe			Total des 3 coupes			
		m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	
A	14	0	1,14	7,75	14,7	0,78	4,60	17,0	1,74	11,82	14,7	3,66	24,17	15,1
B	10,5	3,5	1,41	10,00	14,1	1,03	6,00	17,2	2,02	14,70	13,7	4,46	30,70	14,5
C	7	7	1,64	11,41	14,4	0,22	1,11	19,8	0,72	5,40	13,3	2,58	17,92	14,4
D	7	7	1,57	10,82	14,5	1,08	6,25	17,3	2,05	15,15	13,5	4,70	32,22	14,6
E	3,5	10,5	1,66	11,20	14,8	0,80	4,52	17,7	1,69	11,85	14,3	4,15	27,57	15,1
F	0	14	0,83	4,69	17,7	0,53	2,75	19,3	1,17	7,27	16,1	2,53	14,71	17,2

Test statistique pour le rendement en m.s.

m.s. | p.p. ds 5 % = 0,34
p.p. ds 1 % = 0,47

B	C	D	E	F	
xx	xx	xx			A
				xx	B
				xx	C
					D
				xx	E
					F

m.s. | p.p. ds 5 % = 0,49
p.p. ds 1 % = 0,68

B	C	D	E	F	
	x				A
	xx			x	B
		xx	x		C
					D
				x	E
					F

m.s. | p.p. ds 5 % = 0,81
p.p. ds 1 % = 1,12

B	C	D	E	F	
	x				A
	xx			x	B
		xx	x		C
					D
				x	E
					F

☐ différence non significative
☒ différence significative
☒ différence hautement significative

nous remarquons que le remplacement de la moitié de l'azote nitrique du milieu, par de l'azote ammoniacal, détermine une augmentation sensible de la production en matière végétale du Dactyle, seuil au-dessus duquel le poids de matière végétale diminue pour devenir minimal sur milieu exclusivement ammoniacal (tableau 13).

L'ensemble des résultats de trois coupes de Dactyle met en évidence les points suivants :

- Les milieux ammoniaco-nitriques, en particulier B et D, sont les plus favorables à la production du Dactyle.

- En comparant la production des cultures sur milieu exclusivement nitrique, et celle des cultures sur milieu exclusivement ammoniacal, nous constatons que le milieu nitrique est beaucoup plus favorable à cette production que le milieu ammoniacal.

- Enfin, la teneur en matière sèche est la plus élevée dans les parties aériennes des plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal.

1.2.2.3. Composition azotée de la matière sèche des parties aériennes du Dactyle

Les tableaux 14, 15 et 16 représentent les résultats de dosage des différentes formes d'azote dans les trois récoltes des parties aériennes du Dactyle.

Azote total :

A la première coupe, le taux d'azote total dans les parties aériennes varie dans les limites assez étroites sur les cinq premiers milieux ; mais les plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal, contiennent un pourcentage moins élevé que les autres plantes. On notera également que les plantes cultivées sur milieu D ont la teneur la plus élevée.

A la deuxième coupe, le mode d'alimentation n'intervient pas beaucoup sur la teneur en azote total des parties aériennes, mais c'est toujours sur le milieu D que le taux d'azote total est le plus élevé.

Enfin, à la troisième coupe, la présence d'un taux de l'azote ammoniacal, inférieur à 3,5 meq/l, dans le milieu nutritif a peu d'action sur la teneur en azote total des plantes, seuil au-dessus duquel la teneur en azote total dans la plante diminue, pour atteindre un minimum sur le milieu exclusivement ammoniacal.

Tableau 14

Composition azotée et taux des protéines de la matière sèche
des parties aériennes du Dactyle à la 1ère coupe.

Composition azotée du milieu NO_3^- meq/l NH_4^+		matière sèche (P.A.) (1) g	N. total		N. organique		N. Minéral Ammoniacal		Nitrique		Taux des protéines	
			%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg
A	14	0	4,55	51,87	3,46	39,51	0,010	0,11	1,075	12,25	28,44	324,2
B	10,5	3,5	4,60	64,86	3,53	49,83	0,016	0,23	1,050	14,80	28,75	405,4
C	7	7	4,65	76,26	3,72	61,02	0,029	0,48	0,900	14,76	29,06	476,6
D	7	7	4,85	76,14	3,99	62,61	0,012	0,19	0,850	13,34	30,31	475,9
E	3,5	10,5	4,60	76,36	4,23	70,19	0,035	0,58	0,337	5,59	28,75	477,2
F	0	14	4,00	33,20	3,90	32,40	0,052	0,43	0,045	0,37	25,00	207,5

(1) Quantité moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Composition azotée et taux protéiques de la matière sèche
des parties aériennes du Dactyle à la 2ème coupe.

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. total		N. organique		N. Minéral Ammoniacal		Nitrique		Taux des protéines	
NO_3^-	NH_4^+		%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg
A 14	0	0,78	4,40	34,32	3,54	27,61	0,010	0,08	0,850	6,63	27,50	214,5
B 10,5	3,5	1,03	4,69	48,31	3,82	39,34	0,011	0,11	0,860	8,86	29,31	301,9
C 7	7	0,22	4,30	9,46							26,87	59,1
D 7	7	1,08	5,00	54,00	4,33	46,76	0,020	0,22	0,650	7,02	31,25	337,5
E 3,5	10,5	0,80	4,37	34,96	4,08	32,62	0,017	0,14	0,275	2,20	27,31	218,5
F 0	14	0,53	4,50	23,85	4,40	23,34	0,060	0,32	0,035	0,19	28,12	149,1

(1) Quantité, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. Total		N. Organique		N. Minéral			Taux des protéines			
			%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg			
A	14	0	1,74	4,66	80,94	3,65	63,40	0,008	0,14	1,000	17,40	29,12	505,9
B	10,5	3,5	2,02	4,76	96,32	3,60	72,91	0,009	0,18	1,150	23,23	29,75	602,0
C	7	7	0,72	4,33	31,20	3,62	26,09	0,025	0,18	0,685	4,93	27,06	195,3
D	7	7	2,05	4,35	89,06	3,74	76,50	0,008	0,16	0,605	12,40	27,19	556,6
E	3,5	10,5	1,69	4,35	72,19	4,00	66,38	0,019	0,32	0,325	5,49	27,19	451,2
F	0	14	1,17	4,17	49,12	4,13	48,60	0,025	0,29	0,020	0,23	26,06	307,0

(1) Quantité, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Azote organique :

Les résultats concernant l'azote organique ont été calculés à partir des différences entre l'azote total et l'azote minéral (tableaux 14, 15, 16).

La teneur en azote organique des plantes augmente de façon régulière, avec l'augmentation de la concentration en ion ammonium du milieu nutritif. Ce sont les plantes cultivées sur les milieux E et F qui ont la teneur la plus élevée en azote organique.

Azote minéral :

Plus la concentration en ions nitrate du milieu nutritif est élevée, plus le taux de cette forme d'azote augmente dans la plante. La même relation existe avec l'azote ammoniacal, mais les teneurs en azote ammoniacal du matériel végétal étant toujours beaucoup plus faibles que les teneurs en azote nitrique, la richesse en azote minéral des parties aériennes du Dactyle dépend essentiellement de la variation de leur teneur en azote nitrique. Ainsi, les plantes cultivées sur le milieu nitrique ont la teneur la plus élevée en azote minéral ; cette teneur s'abaisse sensiblement sur les milieux nutritifs contenant plus de 7 meq/l de NH_4^+ .

1.2.2.4. Teneur en phosphore de la matière sèche des parties aériennes du Dactyle

Le tableau 17 met en évidence l'influence favorable des ions NH_4^+ , du milieu nutritif, sur la teneur en phosphore des parties aériennes du Dactyle.

La teneur en phosphore des plantes augmente régulièrement quand la concentration en azote nitrique du milieu diminue. Cependant, sur milieu exclusivement ammoniacal, la teneur en phosphore des plantes est inférieure à celle des plantes cultivées sur les milieux contenant respectivement 7 et 10,5 meq/l d'ions NH_4^+ .

1.2.2.5. Teneur en potassium de la matière sèche des parties aériennes du Dactyle

Le tableau 18 donne les résultats de dosage de potassium dans les parties aériennes des plantes cultivées sur les différents milieux nutritifs.

Tableau 17

Teneur en phosphore de la matière sèche des
parties aériennes du Dactyle

Composition azotée du milieu NO ₃ ⁻ meq/l NH ₄ ⁺			1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe	
			% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg
A	14	0	0,288	3,28	0,280	2,18	0,310	5,38
B	10,5	3,5	0,350	4,93	0,300	3,09	0,377	7,64
C	7	7	0,430	7,05	0,400	0,88	0,443	3,19
D	7	7	0,488	7,66	0,370	4,00	0,400	8,20
E	3,5	10,5	0,540	8,96	0,450	3,60	0,531	8,88
F	0	14	0,390	3,24	0,370	1,96	0,430	5,03

Tableau 18

Teneur en Potassium de la matière sèche des
parties aériennes du Dactyle

Composition azotée du milieu NO ₃ ⁻ meq/l NH ₄ ⁺			1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe	
			% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg
A	14	0	4,60	52,44	4,20	29,02	4,00	69,44
B	10,5	3,5	4,94	69,65	4,40	45,32	4,95	99,88
C	7	7	4,94	81,01	4,20	9,24	4,56	32,70
D	7	7	4,50	70,65	4,00	43,20	4,42	91,01
E	3,5	10,5	4,76	79,02	4,40	35,20	4,42	73,38
F	0	14	4,00	33,20	4,00	21,20	3,97	46,77

(1) Quantité totale dans l'ensemble des plantes d'un pot.

Ce sont les milieux ammoniac-nitriques qui portent en moyenne les cultures les plus riches en potassium, puis vient le milieu nitrique, enfin, le milieu ammoniacal donne les teneurs les plus faibles.

1.2.2.6. Teneur des feuilles du Dactyle en chlorophylle (1ère coupe)

Les résultats de dosage de chlorophylle a, chl. b, chl. totale et le rapport chl.a/Chl.b sont groupés dans le tableau 19.

Les milieux ammoniac-nitriques, particulièrement à forte dose d'ions NH_4^+ , augmentent la teneur en chlorophylle des parties aériennes du Dactyle. Les milieux D et E portent les cultures les plus riches en chlorophylle et le milieu ammoniacal donne les teneurs les plus faibles.

Le rapport Chl.a/Chl.b augmente régulièrement avec l'augmentation d'ions NO_3^- et la diminution d'ions NH_4^+ dans le milieu nutritif.

Tableau 19

Teneur des feuilles du Dactyle en chlorophylle

	Composition azotée du milieu		Chl. a mg/g m.f.	Chl. b mg/g m.f.	Chl. totale mg/g m.f.	rapport Chl.a/Chl.b
	NO_3^- meq/l	NH_4^+				
A	14	0	1,85	0,81	2,66	2,28
B	10,5	3,5	1,96	0,89	2,85	2,21
C	7	7	1,75	0,80	2,55	2,19
D	7	7	2,20	1,07	3,27	2,05
E	3,5	10,5	2,20	1,07	3,27	2,05
F	0	14	1,77	0,88	2,65	2,00

1.2.2.7. Poids de matière sèche, rapport parties aériennes/racines et la teneur en azote dans les racines du Dactyle

Le tableau 20 montre le poids de matière sèche des racines du Dactyle, âgées de huit semaines, le rapport m.s. de 3 coupes des parties aériennes/m.s. des racines, et la teneur des racines en azote total.

Si l'on excepte les résultats des cultures sur milieu C - aberrantes, de la deuxième coupe, comme nous l'avons signalé - les milieux ammoniaco-nitriques donnent la production en matière sèche de racine la plus forte, et le milieu exclusivement ammoniacal la production la plus faible, avec une différence significative entre cultures sur milieux D et F.

D'autre part, le remplacement progressif de l'azote nitrique du milieu, par de l'azote ammoniacal, a peu d'action sur la teneur en azote des racines.

Tableau 20

Résultats des racines du Dactyle

test pour m.s.					Composition azotée du milieu			m.s. des racines (un pot) g	Rapport 3coupe P.A. racines	Azote total	
B	C	D	E	F	NO ₃ ⁻ meq/l	NH ₄ ⁺				% de la m.s.	Quantité par pot mg
					A	14	0	0,444	8,3	1,80	7,99
	x				B	10,5	3,5	0,599	7,5	1,90	11,38
		x			C	7	7	0,321	8,0	1,90	6,10
				x	D	7	7	0,660	7,1	1,80	11,88
					E	3,5	10,5	0,458	9,1	1,85	8,47
					F	0	14	0,358	7,1	1,90	6,80

pour m.s. des racines

p.p. ds 5 % = 0,277

p.p. ds 1 % = 0,383

- ☐ non significative
- ☒ significative
- ☒ hautement significative

1.2.3. Luzerne (Medicago sativa L.)

Les températures moyennes relevées au cours des cultures sont de +24°C pour la première coupe, de +25°C pour la deuxième coupe et de +26°C pour la troisième coupe.

1.2.3.1. Hauteur moyenne et sa relation avec la matière sèche des parties aériennes à la première coupe

Le remplacement, d'une partie ou de la totalité, de l'azote nitrrique du milieu nutritif par de l'azote ammoniacal, a peu d'action sur la hauteur de la Luzerne, jusqu'à l'âge de quatre semaines (tableau 20).

En ce qui concerne le rapport matière sèche des parties aériennes/hauteur, il est moins élevé dans le cas des cultures sur milieu exclusivement ammoniacal que dans le cas des cultures sur d'autres milieux.

Tableau 20

Résultats de la 1ère partie

test pour $\bar{h}$					Composition azotée du milieu		Hauteur moyenne mm	<u>m.s. des P.A.</u>	
B	C	D	E	F	NO_3^- meq/l	NH_4^+		hauteur mg / mm	
					A	14	0	200	9,0
					B	10,5	3,5	212	9,6
					C	7	7	213	9,5
					D	7	7	224	9,9
					E	3,5	10,5	217	8,7
Pas de diffé- rence signifi-					F	0	14	209	7,5

Pas de diffé-
rence signifi-
cative.

pour $\bar{h}$ p.p. ds 5 %
 p.p. ds 1 %

1.2.3.2. Production de matière végétale des parties aériennes de la Luzerne

Le tableau 21 montre la production de matière végétale de la Luzerne aux trois coupes successives.

La Luzerne ne supporte pas une proportion d'ions ammonium supérieure à 50 % de l'azote combiné du milieu nutritif.

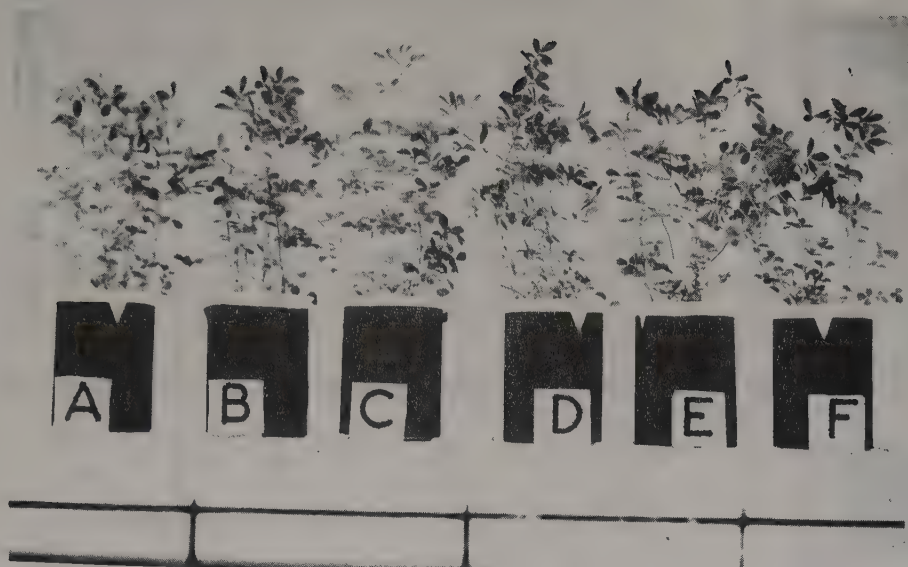
A la première coupe, contrairement aux plantes cultivées sur les milieux contenant l'azote sous forme nitrique ou ammoniaco-nitrique, les plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal présentent des symptômes de toxicité se traduisant par jaunissement et dessèchement des feuilles. C'est à partir de la deuxième coupe qu'apparaît nettement la toxicité du milieu exclusivement ammoniacal ou milieu E, dans lequel l'azote ammoniacal représente 75 % de la totalité de l'azote combiné du milieu. Cette toxicité très importante entraîne, en plus du dessèchement, la mort des plantes (sur milieu ammoniacal il n'y a pas de repousse ; sur milieu E, les plantes de deux pots sur quatre ont disparu, et celles des deux autres pots n'ont pas repoussé à la troisième coupe).

Sur le plan rendement quantitatif, à la première coupe, nous constatons que la présence d'une faible concentration d'ions ammonium dans le milieu nutritif augmente la production en matière végétale des parties aériennes de la Luzerne, par rapport aux milieux exclusivement ammoniacal ou exclusivement nitrique. Les plantes, cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal, ont un rendement significativement moins élevé que les autres plantes (la différence entre F et E n'est pas significative).

Aux deuxième et troisième coupes, le rendement de la Luzerne sur le milieu E et F est nul, et les milieux B et D sont les milieux les plus favorables à la production de matière végétale des parties aériennes de la luzerne ; autrement dit, les milieux ammoniaco-nitriques dans lesquels la proportion des ions nitrate est égale ou supérieure à celle des ions ammonium, donnent les rendements les plus élevés.

Enfin, la teneur en matière sèche des parties aériennes de Luzerne semble peu influencée par les différents milieux nutritifs. Cependant, les plantes cultivées sur milieu nitrique ont une teneur en matière sèche moins élevée que celles cultivées sur d'autres milieux.

Culture de Luzerne



1^{ère} coupe



2^{ème} coupe



3^{ème} coupe

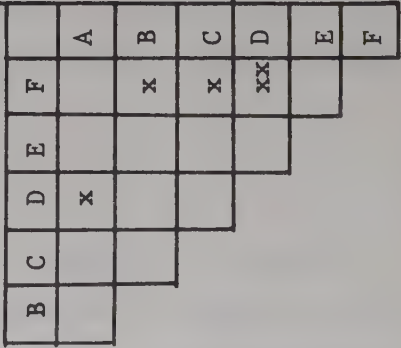
NO ₃	14	10.5	7	7	3.5	0	
NH ₄	0	3.5	7	7	10.5	14	meq/l

Tableau 21

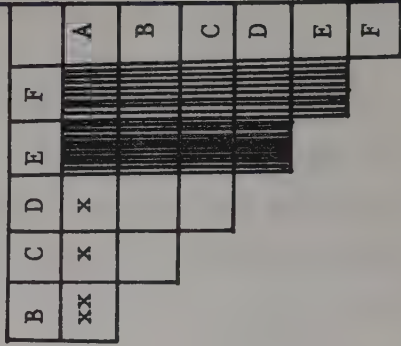
Production de matière végétale des parties aériennes de la Luzerne
(moyenne d'un pot)

Composition azotée du milieu NO_3^- meq/l NH_4^+		1ère coupe			2ème coupe			3ème coupe			Total des 3 coupes		
		m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.
A	14	0	1,80	8,76	20,5	0,71	4,36	16,3	0,40	2,21	18,1	15,33	19,0
B	10,5	3,5	2,03	9,27	21,9	1,18	6,65	17,7	0,99	5,24	18,9	21,16	19,8
C	7	7	2,02	9,55	21,6	0,66	4,00	16,5	0,89	4,67	19,1	18,22	19,6
D	7	7	2,21	9,45	23,4	1,02	5,84	17,5	0,92	4,75	19,4	20,04	20,70
E	3,5	10,5	1,90	8,67	21,9	0,54	3,60	15,0	0,00	0,00	-	12,27	19,9
F	0	14	1,56	7,71	20,2	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	7,71	20,2

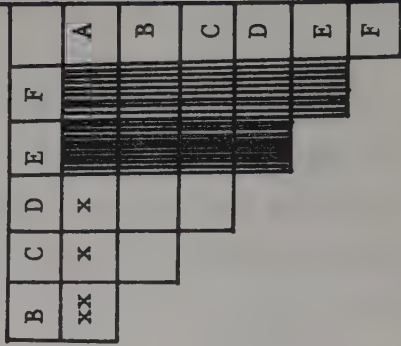
m.s. | p.p. ds 5 % = 0,38
p.p. ds 1 % = 0,53



m.s. | p.p. ds 5 % = 0,52
p.p. ds 1 % = 0,73



m.s. | p.p. ds 5 % = 0,38
p.p. ds 1 % = 0,53



Test statistique pour le
rendement en m.s.

☐ différence non significative
☒ différence significative
☒ différence hautement significative
☒ absence de récolte

1.2.3.3. Composition azotée de la matière sèche des parties aériennes de la Luzerne

Les résultats de dosage des différentes formes d'azote contenues dans les trois récoltes des parties aériennes de la Luzerne, sont indiqués dans les tableaux 22, 23 et 24.

Azote total :

Pour les trois récoltes successives, les variations de teneur en azote total des parties aériennes de Luzerne sont très faibles, et pratiquement indépendantes de la proportion des ions nitrate ou des ions ammonium contenus dans le milieu nutritif. Les calculs statistiques ne montrent aucune différence de teneur en azote total entre des plantes cultivées sur les six milieux différents ; mais cette teneur augmente avec l'âge de la plante.

Azote organique :

La présence des ions NH_4^+ , dans le milieu nutritif, augmente la teneur en azote organique dans les parties aériennes de la Luzerne, pour chacune des trois coupes. Avec le remplacement progressif de l'azote nitrique du milieu par l'azote ammoniacal, la teneur en azote organique dans la plante augmente régulièrement, pour atteindre un maximum sur milieu exclusivement ammoniacal.

En comparant la teneur en azote organique des trois coupes de la Luzerne, nous constatons qu'avec l'âge de la plante, cette teneur augmente, quelque soit le mode d'alimentation.

Azote minéral :

Le remplacement d'une partie, ou de la totalité de l'azote nitrique du milieu par de l'azote ammoniacal, détermine une diminution de la teneur en azote nitrique, et une augmentation de la teneur en azote ammoniacal, dans les parties aériennes de la Luzerne. Mais, les teneurs en azote ammoniacal du matériel végétal étant toujours beaucoup plus faibles que les teneurs en azote nitrique, la richesse en azote minéral des parties aériennes de la Luzerne dépend essentiellement de la variation de leur teneur en azote nitrique.

D'autre part, nous constatons que les jeunes plantes (1ère coupe) ont une teneur en azote minéral supérieure à celle des plantes plus âgées (3ème coupe).

Composition azotée et taux protéiques de la matière sèche
des parties aériennes de la Luzerne à la 1ère coupe.

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. Total		N. Organique		N. Minéral Ammoniacal		Nitrique		Taux des protéines	
NO_3^-	NH_4^+		%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg
A	14	0	3,22	57,96	2,58	46,47	0,012	0,216	0,625	11,25	20,12	362,1
B	10,5	3,5	3,11	63,19	2,72	55,30	0,014	0,284	0,375	7,61	19,44	394,9
C	7	2,02	3,25	65,69	2,97	60,10	0,015	0,303	0,262	5,29	20,31	410,6
D	7	2,21	3,31	73,30	2,99	66,13	0,012	0,265	0,312	6,90	20,69	458,1
E	3,5	10,5	3,21	61,14	2,99	56,90	0,023	0,437	0,200	3,80	20,06	382,1
F	0	14	3,21	50,29	3,14	49,01	0,052	0,811	0,030	0,47	20,06	314,3

(1) Quantité, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Composition azotée et taux protéiques de la matière sèche
des parties aériennes de la Luzerne à la 2ème coupe.

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. Total		N. Organique		N. Minéral Ammoniacal		Nitrique		Taux des protéines	
NO_3^-	NH_4^+		%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg
A 14	0	0,71	4,25	30,17	3,65	25,91	0,010	0,071	0,590	4,19	26,56	188,6
B 10,5	3,5	1,18	4,25	50,15	3,94	46,50	0,009	0,106	0,300	3,54	26,56	313,4
C 7	7	0,66	4,25	28,05	4,08	26,96	0,015	0,099	0,150	0,99	26,56	175,3
D 7	7	1,02	4,37	44,57	4,10	41,79	0,016	0,163	0,257	2,62	27,31	278,6
E 3,5	10,5	0,54	4,50	24,30	4,32	23,33	0,020	0,108	0,160	0,86	28,12	151,9
F 0	14	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) Quantité, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Tableau 24

Composition azotée et taux protéiques de la matière sèche
des parties aériennes de la Luzerne à la 3ème coupe.

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. Total		N. Organique		N. Minéral			Nitrique		Taux des protéines	
NO ₃ ⁻	meq/l NH ₄ ⁺		%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%
A	14	0	4,31	17,24	3,88	15,52	0,015	0,060	0,416	1,66	26,94	107,7	
B	10,5	3,5	4,43	43,86	4,08	40,41	0,011	0,109	0,337	3,34	27,69	274,1	
C	7	7	4,25	37,82	4,05	36,07	0,017	0,151	0,180	1,60	26,56	236,7	
D	7	7	4,62	42,50	4,35	40,00	0,010	0,092	0,262	2,41	28,87	265,6	
E	3,5	10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) Quantité, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

1.2.3.4. Teneur en phosphore de la matière sèche des parties aériennes de la Luzerne

Le tableau 25 met en évidence l'influence favorable des ions NH_4^+ du milieu nutritif sur la teneur en phosphore des parties aériennes de la Luzerne. Au fur et à mesure qu'on remplace les ions nitrate par les ions ammonium, la teneur en phosphore des parties aériennes augmente de façon régulière avec l'augmentation des ions ammonium du milieu, pour devenir maximale sur le milieu exclusivement ammoniacal.

D'autre part, la teneur en phosphore dans les parties aériennes est généralement plus élevée à la première coupe qu'à la troisième coupe.

1.2.3.5. Teneur en potassium de la matière sèche des parties aériennes de la Luzerne

Le remplacement d'une partie ou de la totalité de l'azote nitrique du milieu nutritif par de l'azote ammoniacal, détermine une diminution de la teneur en potassium dans les parties aériennes de la Luzerne. Ainsi, les plantes cultivées sur milieu exclusivement nitrique ou milieu ammoniaco-nitrique, contenant 3,5 meq/l des ions NH_4^+ et 10,5 meq/l des ions NO_3^- , ont les pourcentages les plus élevés en potassium. (tableau 26).

D'autre part, avec l'âge de la plante, la teneur en potassium augmente légèrement.

1.2.3.6. Teneur des feuilles de la Luzerne en chlorophylle (1ère coupe)

De l'examen des résultats de dosage de chlorophylle contenue dans les feuilles de la Luzerne (tableau 27), il ressort que :

1) La teneur en chlorophylle a et en chlorophylle b, donc en chlorophylle totale, est généralement plus élevée dans les cultures sur milieux ammoniaco-nitriques que celle des cultures sur milieux exclusivement nitrique ou exclusivement ammoniacal.

2) La comparaison entre milieu nitrique et milieu ammoniacal montre que les plantes cultivées sur milieu nitrique ont une teneur plus élevée en chlorophylle que celles cultivées sur milieu ammoniacal.

Tableau 25

Teneur en phosphore de la matière sèche
des parties aériennes de Luzerne

Composition azotée du milieu NO ₃ ⁻ meq/l NH ₄ ⁺			1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe	
			% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg
A	14	0	0,216	3,89	0,220	1,56	0,195	0,78
B	10,5	3,5	0,233	4,75	0,220	2,60	0,185	1,83
C	7	7	0,235	4,75	0,235	1,55	0,240	2,14
D	7	7	0,250	5,58	0,230	2,35	0,220	2,02
E	3,5	10,5	0,306	5,83	0,320	1,73	-	-
F	0	14	0,486	7,59	-	-	-	-

Tableau 26

Teneur en potassium de la matière sèche
des parties aériennes de Luzerne

Composition azotée du milieu NO ₃ ⁻ meq/l NH ₄ ⁺			1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe	
			% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg
A	14	0	4,27	76,95	4,44	31,52	4,72	18,88
B	10,5	3,5	4,10	83,29	4,24	50,03	4,72	46,73
C	7	7	3,78	76,31	3,60	23,76	4,24	37,74
D	7	7	3,65	80,86	4,04	41,21	4,40	40,48
E	3,5	10,5	3,67	69,89	4,04	23,98	-	-
F	0	14	3,99	62,45	-	-	-	-

(1) Quantité en mg, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Tableau 27

Teneur des feuilles de la Luzerne en chlorophylle (1ère coupe)

Composition azotée du milieu NO_3^- meq/l NH_4^+			Chl. a mg/g m.f.	Chl. b mg/g m.f.	Chl. totale mg/g m.f.	$\frac{\text{Chl. a}}{\text{Chl. b}}$
A	14	0	1,72	0,90	2,62	1,90
B	10,5	3,5	2,06	1,02	3,08	2,02
C	7	7	2,20	1,12	3,32	1,97
D	7	7	2,04	1,00	3,04	2,04
E	3,5	10,5	1,70	0,90	2,60	1,85
F	0	14	1,46	0,78	2,24	1,89

1.2.3.7. Poids de matière sèche, rapport parties aériennes/racines et
teneur des racines de la Luzerne en azote

Avec l'augmentation de la concentration d'ions ammonium dans le milieu nutritif, jusqu'à 7 meq/l, il y a une augmentation du poids des racines de Luzerne ; au-dessus de ce seuil, nous observons une diminution significative de poids des racines, qui devient pratiquement nul sur le milieu exclusivement ammoniacal (tableau 28). Le milieu D est le plus favorable à la production des racines de Luzerne.

Quant au rapport matière sèche des parties aériennes (total des 3 coupes) / matière sèche des racines, il semble qu'il soit indépendant de la forme d'azote du milieu nutritif ; cependant, ce rapport est maximum dans le cas des cultures sur milieu E.

En ce qui concerne la teneur en azote total des racines, elle diminue rapidement dès qu'on remplace une partie de l'azote nitrique du mi-

Tableau 28

matière sèche des racines de Luzerne et
leurs teneurs en azote total

test pour m.s.					Composition azotée du milieu		m.s.des racines (un pot)	Rapport 3 coupes P.A. racines	Azote total	
B	C	D	E	F	NO_3^- meq/l NH_4^+		g		% de la m.s.	quantité par pot mg
		x			A	14 0	0,167	17,4	3,20	5,34
					B	10,5 3,5	0,210	20,0	3,00	6,30
			x		C	7 7	0,225	15,9	2,60	5,85
			xx		D	7 7	0,281	14,8	2,60	7,31
					E	3,5 10,5	0,118	20,7	2,60	3,07
					F	0 14	0,000	-	-	-

pour m.s. p.p. ds 5 % = 0,103
 p.p. ds 1 % = 0,144

- différence non significative
- x

différence significative
- xx

différence hautement significative
- absence de récolte

lieu par de l'azote ammoniacal, puis se maintient à peu près constante. La teneur la plus élevée est observée dans les racines des plantes cultivées sur milieu exclusivement nitrique.

1.2.4. Trèfle blanc (*Trifolium repens* L.)

Les températures moyennes relevées au cours des cultures sont de +20°C pour la première coupe, de +28°C pour la deuxième coupe et de +29°C pour la troisième coupe.

1.2.4.1. Production de matière végétale des parties aériennes du Trèfle blanc

Les résultats de trois récoltes de la matière végétale du Trèfle blanc sont indiqués dans le tableau 29. Le Trèfle blanc, comme la Luzerne, ne peut pas supporter une proportion en azote ammoniacal supérieure à 50 % de l'azote combiné du milieu nutritif.

A la première coupe, le milieu exclusivement ammoniacal provoque certains symptômes de toxicité, se traduisant par le jaunissement et le dessèchement chez le Trèfle blanc ; au moment de la deuxième coupe, la plupart des plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal ont péri. Enfin, à la troisième coupe, les plantes de deux pots sur quatre n'ont donné aucune repousse sur milieu E, contenant 10,5 meq/l NH_4^+ et 3,5 meq/l NO_3^- .

En ce qui concerne le rendement des plantes en matière fraîche et en matière sèche, le remplacement d'une partie de l'azote nitrique du milieu par de l'azote ammoniacal, à la première coupe, augmente sensiblement la production de matière végétale des parties aériennes ; mais, le remplacement complet de l'azote nitrique par de l'azote ammoniacal entraîne une diminution considérable de matière végétale chez le Trèfle blanc. Statistiquement, il y a une différence hautement significative entre le rendement en matière sèche des cultures sur milieux ammoniacal-nitriques, et celui des cultures sur milieu nitrique ou ammoniacal. Puis, aux deux coupes suivantes, le rendement en matière sèche des cultures sur milieu E diminue aussi, d'une façon significative, par rapport à celui des cultures sur les quatre milieux nutritifs.

Culture de Trèfle-blanc



1ère coupe



2ème coupe



3ème coupe

NO_3^-	14	10.5	7	7	3.5	0	meq/l
NH_4^+	0	3.5	7	7	10.5	14	

Production de matière végétale des parties aériennes du Trèfle blanc
(moyenne d'un pot)

Composition azotée du milieu NO_3^- meq/l NH_4^+		1ère coupe				2ème coupe				3ème coupe				Total des 3 coupes		
		m.s. g	m.f. g	m.s./m.f. %		m.s. g	m.f. g	m.s./m.f. %		m.s. g	m.f. g	m.s./m.f. %		m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.
A	14	0	1,47	12,90	11,4	1,40	10,44	13,4		1,55	10,71	14,5		4,42	34,05	13,0
B	10,5	3,5	2,28	20,56	11,1	2,04	15,65	13,0		2,00	14,67	13,6		6,32	50,88	12,4
C	7	7	2,23	20,87	10,7	1,91	14,97	12,8		1,94	13,96	13,9		6,08	49,80	12,2
D	7	7	2,12	19,78	10,7	2,02	14,82	13,6		1,97	13,50	14,6		6,11	48,10	12,70
E	3,5	10,5	2,17	19,60	11,1	0,70	4,91	14,3		0,51	3,59	14,2		3,38	28,10	12,0
F	0	14	1,01	8,91	11,3	0,04	0,24	16,7		0,00	0,00	-		1,05	9,15	11,5

m.s. | P.p. ds 5 % = 0,30
p.p. ds 1 % = 0,41

B	C	D	E	F	
xx	xx	xx	xx	xx	A
			xx	xx	B
			xx	xx	C
			xx	xx	D
			xx	xx	E
				xx	F

m.s. | P.p. ds 5 % = 0,58
p.p. ds 1 % = 0,80

B	C	D	E	F	
x		x	xx	xx	A
			xx	xx	B
			xx	xx	C
			xx	xx	D
			xx	xx	E
				xx	F

m.s. | P.p. ds 5 % = 0,55
p.p. ds 1 % = 0,77

B	C	D	E	F	
			xx	xx	A
			xx	xx	B
			xx	xx	C
			xx	xx	D
				xx	E
					F

☐ différence non significative

☒ différence significative

☒ différence hautement significative

☒ absence de récolte

Test statistique pour le rendement en m.s.

Sur l'ensemble des trois coupes, les milieux ammoniac-nitriques, à l'exception du milieu E, sont les plus favorables à la production de matière végétale du Trèfle blanc.

D'autre part, il semble que la présence ou l'absence des ions ammonium dans le milieu influence peu la teneur en matière sèche des parties aériennes du Trèfle blanc.

On note également, qu'au moment des deux dernières coupes, la plupart des plantes atteint le stade de la floraison.

1.2.4.2. Composition azotée de la matière sèche des parties aériennes du Trèfle blanc

Les résultats de dosage des différentes formes d'azote contenues dans les trois récoltes des parties aériennes du Trèfle blanc sont indiquées dans les tableaux 30, 31 et 32.

Azote total :

Les résultats montrent que les plantes cultivées sur les milieux ammoniac-nitriques, contiennent des teneurs plus élevées en azote total, que celles cultivées sur milieu nitrique ; la présence des ions ammonium dans le milieu nutritif augmente légèrement la teneur en azote total des parties aériennes du Trèfle blanc.

Azote organique :

A mesure que les ions ammonium remplacent les ions nitrate dans le milieu nutritif, le pourcentage en azote organique de la matière sèche des parties aériennes augmente, pour devenir maximal sur le milieu exclusivement ammoniacal.

Azote minéral :

Le remplacement progressif des ions nitrate du milieu par des ions ammonium, diminue régulièrement la teneur en azote nitrique dans la plante et augmente sa teneur en azote ammoniacal. Mais, dans la plante, la teneur en azote ammoniacal reste toujours négligeable ; aussi, les variations de teneur en azote minéral dans les parties aériennes sont-elles étroitement liées aux variations de leurs teneurs en nitrate, variations qui dépendent elles-mêmes directement de la fourniture du milieu en cette forme d'azote.

Tableau 30

Composition azotée et taux protéiques de la matière sèche
des parties aériennes du Trèfle blanc à la lère coupe.

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. Total		N. Organique		N. Minéral			Taux des protéines	
NO_3^-	NH_4^+		%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	Ammoniacal	Nitrique	%	quantité (1) mg
A 14	0	1,47	4,21	61,96	3,35	49,32	0,010	0,147	0,850	26,31	387,2
B 10,5	3,5	2,28	4,34	99,09	3,58	81,74	0,011	0,250	0,750	27,12	619,3
C 7	7	2,23	4,70	104,84	4,04	90,19	0,017	0,379	0,640	29,37	655,2
D 7	7	2,12	4,39	93,01	3,60	76,26	0,015	0,318	0,775	27,44	581,3
E 3,5	10,5	2,17	4,44	96,33	4,15	90,02	0,044	0,955	0,247	27,75	602,1
F 0	14	1,01	4,37	44,13	4,26	43,01	0,072	0,727	0,040	27,31	275,8

(1) Quantité, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Tableau 31

Composition azotée et taux protéiques de la matière sèche
des parties aériennes du Trèfle blanc à la 2ème coupe.

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. Total		N. Organique		N. Minéral Ammoniacal		Nitrique		taux des protéines	
			%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg
A	14	0	4,31	60,35	3,67	51,46	0,010	0,140	0,625	8,75	26,94	377,2
B	10,5	3,5	4,30	87,22	3,77	76,80	0,011	0,224	0,500	10,20	26,87	545,1
C	7	1,91	4,88	93,22	4,53	86,51	0,014	0,267	0,337	6,44	30,50	582,6
D	7	2,02	4,75	96,04	4,41	89,20	0,014	0,283	0,325	6,56	29,69	600,2
E	3,5	10,5	4,70	32,90	4,53	31,71	0,070	0,490	0,100	0,70	29,37	205,6
F	0	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) Quantité, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Tableau 32

Composition azotée et taux protéiques de la matière sèche
des parties aériennes du Trèfle blanc à la 3ème coupe.

Composition azotée du milieu		matière sèche (P.A.) (1) g	N. Total		N. Organique		N. Minéral			Taux des protéines	
			%	quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%	Ammoniacal	Nitrique		
NO_3^-	NH_4^+							quantité (1) mg	%	quantité (1) mg	%
A 14	0	1,55	4,25	65,97	3,76	58,45	0,010	0,155	0,475	7,36	26,56
B 10,5	3,5	2,00	4,17	83,42	3,78	75,68	0,012	0,240	0,375	7,50	26,06
C 7	7	1,94	3,93	76,23	3,63	70,33	0,017	0,330	0,287	5,57	24,56
D 7	7	1,97	4,85	95,52	4,58	90,30	0,015	0,295	0,250	4,92	30,31
E 3,5	10,5	0,51	4,25	21,67	4,15	21,16	0,050	0,255	0,050	0,25	26,56
F 0	14	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) Quantité, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

Enfin, comme chez les trois espèces étudiées précédemment, chez le Trèfle blanc, la teneur en azote minéral dans les parties aériennes diminue d'une façon sensible et assez régulière, avec l'âge de la plante.

1.2.4.3. Teneur en phosphore de la matière sèche des parties aériennes du Trèfle blanc

Le remplacement progressif de l'azote nitrique du milieu nutritif par de l'azote ammoniacal détermine, de façon plus ou moins régulière, une augmentation de la teneur en phosphore dans les parties aériennes du Trèfle blanc (tableau 33).

Le pourcentage le plus faible en phosphore appartient aux cultures sur milieu exclusivement nitrique, et le plus fort aux cultures sur milieu exclusivement ammoniacal.

1.2.4.4. Teneur en potassium de la matière sèche des parties aériennes du Trèfle blanc

Les variations de teneur en potassium des parties aériennes du Trèfle blanc, à la première coupe, ne sont pas très sensibles aux variations de concentration des ions NO_3^- et NH_4^+ du milieu nutritif. Cependant, les plantes cultivées sur milieu exclusivement ammoniacal ont une teneur en potassium légèrement inférieure à celle des plantes cultivées sur d'autres milieux (tableau 34).

Aux deux coupes suivantes, une faible concentration d'ions ammonium (3,5 meq/l) dans le milieu nutritif n'influence pas la teneur en potassium des parties aériennes, mais au-dessus de ce seuil, la teneur en potassium diminue dans les parties aériennes pour devenir minimale sur milieu E, contenant 10,5 meq/l d'ions ammonium.

1.2.4.5. Teneur des feuilles du Trèfle blanc en chlorophylle, à la première coupe.

Les teneurs en chlorophylle, calculées à partir des mesures spectrophotométriques, sont indiquées dans le tableau 35.

La présence d'ions ammonium dans le milieu nutritif, jusqu'à 7 meq/l d'ions ammonium, influence peu la teneur en chlorophylle des feuilles

Tableau 33

Teneur en phosphore de la matière sèche des
parties aériennes du Trèfle blanc

Composition azotée du milieu NO_3^- meq/l NH_4^+			1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe	
			% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg
A	14	0	0,46	6,79	0,47	6,57	0,37	5,78
B	10,5	3,5	0,50	11,54	0,53	10,83	0,41	8,22
C	7	7	0,55	12,21	0,55	10,58	0,43	8,41
D	7	7	0,56	11,90	0,49	9,90	0,40	7,83
E	3,5	10,5	0,52	11,34	0,54	3,78	0,47	2,40
F	0	14	0,58	5,86	-	0,00	-	0,00

Tableau 34

Teneur en potassium de la matière sèche des
parties aériennes du Trèfle blanc

Composition azotée du milieu NO_3^- meq/l NH_4^+			1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe	
			% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg	% de la m.s.	(1) mg
A	14	0	4,55	67,19	5,04	70,54	3,93	60,82
B	10,5	3,5	4,61	105,21	5,04	103,51	4,17	83,35
C	7	7	4,72	105,55	4,33	82,80	3,88	75,29
D	7	7	4,61	97,56	3,82	77,34	3,85	75,99
E	3,5	10,5	4,55	98,73	3,80	26,60	3,72	18,97
F	0	14	4,48	45,25	-	0,00	-	0,00

(1) Quantité en mg, moyenne de l'ensemble des plantes d'un pot.

du Trèfle blanc. Cependant, les plantes cultivées sur milieu D ont la teneur en chlorophylle la plus élevée ; au-delà de ce seuil, celle-ci diminue de façon sensible pour atteindre un minimum lorsque le milieu devient exclusivement ammoniacal.

D'autre part, il semble que le rapport chl.a/chl.b soit indépendant du mode d'alimentation.

1.2.4.6. Poids de matière sèche des racines du Ray grass, rapport parties aériennes/racines et teneur en azote dans les racines

Le remplacement du quart ou de la moitié des ions nitrate du milieu nutritif, par des ions ammonium, augmente la production de racines du Trèfle blanc ; seuil au-dessus duquel celle-ci diminue sensiblement pour devenir pratiquement nulle sur milieu exclusivement ammoniacal.

Le rapport m.s. des parties aériennes (total des 3 coupes) / m.s. des racines est plus faible pour les cultures sur milieu nitrique que pour les cultures sur d'autres milieux.

Enfin, la teneur en azote total dans les racines augmente rapidement pour les faibles concentrations d'ions NH_4^+ du milieu nutritif, puis se maintient à peu près constante. La teneur la plus élevée en azote total est observée dans les racines cultivées sur milieu C (tableau 36).

Tableau 35

Teneur des feuilles du Trèfle blanc en
chlorophylle (1ère coupe)

Composition azotée du milieu NO ₃ ⁻ meq/l NH ₄ ⁺			Chl.a mg/g m.f.	Chl.b mg/g m.f.	Chl.total mg/g m.f.	chl.a chl.b
A	14	0	1,50	0,68	2,18	2,22
B	10,5	3,5	1,54	0,70	2,24	2,20
C	7	7	1,50	0,68	2,18	2,22
D	7	7	1,62	0,72	2,34	2,24
E	3,5	10,5	1,30	0,66	1,96	2,00
F	0	14	1,22	0,56	1,78	2,18

Tableau 36

Résultats des racines du Trèfle blanc

test pour m.s.					Composition azotée du milieu NO ₃ ⁻ meq/l NH ₄ ⁺		m.s.des racines (un pot) g	Rapport 3 coupes P.A. racines	Azote total	
B	C	D	E	F					% de la m.s.	quantité par pot mg
					A	14 0	0,396	11,2	2,80	11,09
			x		B	10,5 3,5	0,459	13,8	3,10	14,23
					C	7 7	0,419	14,5	3,20	13,41
			x		D	7 7	0,477	12,8	3,00	14,31
					E	3,5 10,5	0,234	14,4	3,00	7,02
					F	0 14	0,00	-	-	0,00

non significative

significative

hautement significative

absence de récolte

x

xx

pour m.s. des racines

p.p. ds 5 % = 0,196

p.p. ds 1 % = 0,275

1.3. D I S C U S S I O N

=====

E T

C O N C L U S I O N

=====

Les différents traitements, mis en oeuvre dans cette première partie, visent à étudier l'influence du rapport $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ du milieu nutritif sur la croissance et la composition chimique des quatre espèces fourragères étudiées.

A partir d'une concentration constante en azote total combiné de 14 meq/l, on prépare six milieux nutritifs différant essentiellement par leurs concentrations en ions nitrate et en ions ammonium.

Pour tirer les conclusions générales des résultats que nous venons d'exposer dans cette première partie, nous comparerons les quatre espèces entre elles pour chacune des caractéristiques étudiées.

1.3.1. Production de matière végétale

Il ressort de l'ensemble de ces résultats que les rendements les plus faibles sont donnés par les cultures sur le milieu exclusivement ammoniacal ; les deux espèces de légumineuse sont plus particulièrement sensibles à la toxicité des ions ammonium, et après la première coupe, leur repousse sur milieu à 14 meq/l de NH_4^+ est mauvaise, sinon nulle (fig. 3, 4, 5 et 6).

La toxicité des ions NH_4^+ est moins sensible aux stades jeunes qu'aux stades plus âgés, car aux deux dernières coupes, les milieux à 10,5 et à 14 meq/l de NH_4^+ provoquent des symptômes de toxicité se traduisant par le jaunissement, le dessèchement, puis la mort des plantes. En 1937 déjà, HOAGLAND concluait que les nitrates sont généralement absorbés de manière croissante, alors que l'ammoniaque l'est de manière décroissante au fur et à mesure que l'âge des plantes augmente.

Les rendements les plus élevés sont portés par les milieux ammoniaco-nitriques renfermant le quart ou la moitié de l'azote combiné sous forme ammoniacale ; une proportion de l'azote ammoniacal supérieure à ce taux diminue la production de la plante. Toutefois, la croissance des plantes est encore satisfaisante sur le milieu exclusivement nitrique, alors qu'elle est nettement déficiente sur le milieu exclusivement ammoniacal, en particulier pour les deux espèces de légumineuse.

Fig 3

Production de la matière sèche des

Parties aériennes du Ray-grass.

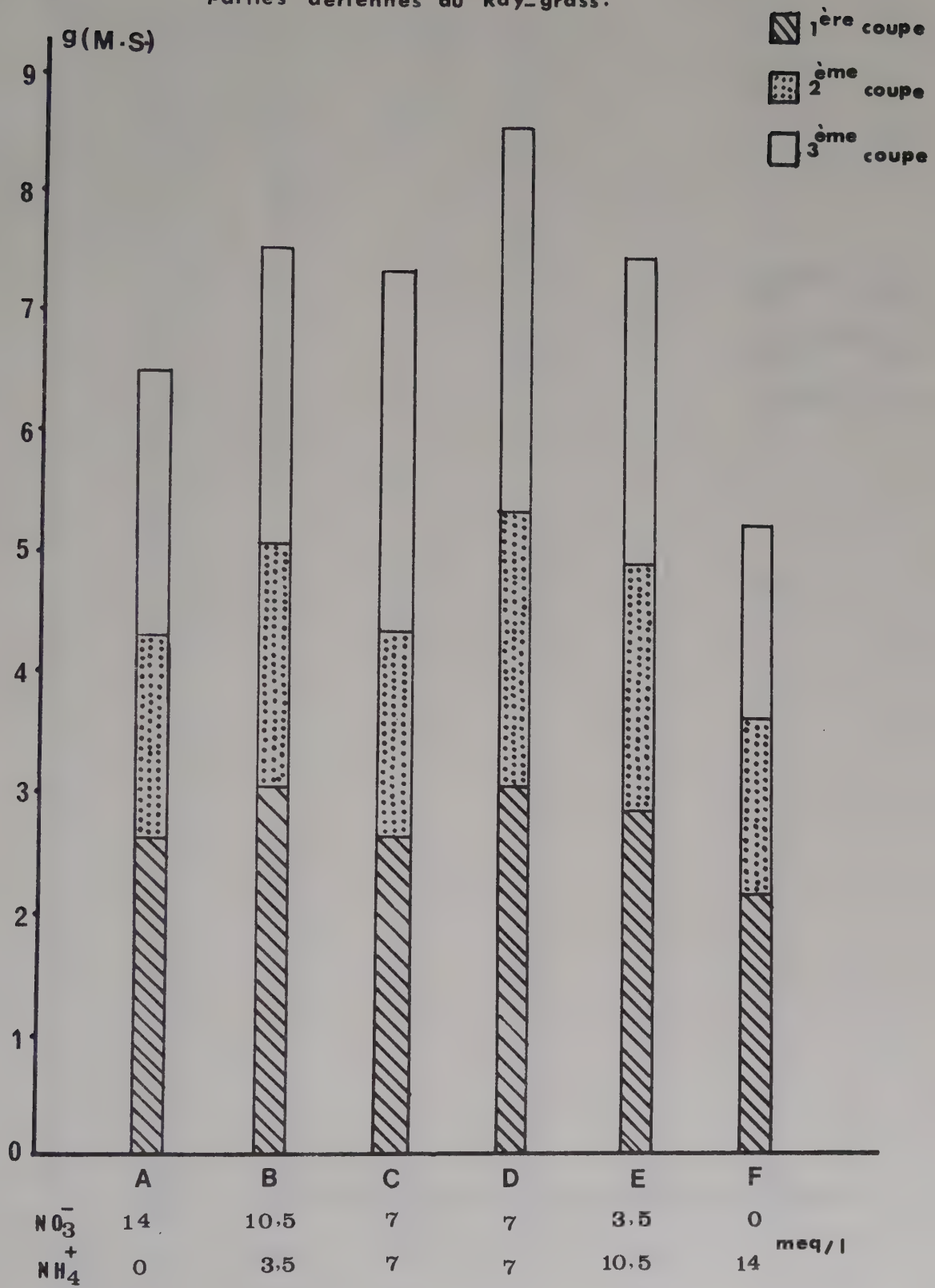


Fig 4

Production de la matière sèche des parties
aériennes du Dactyle.

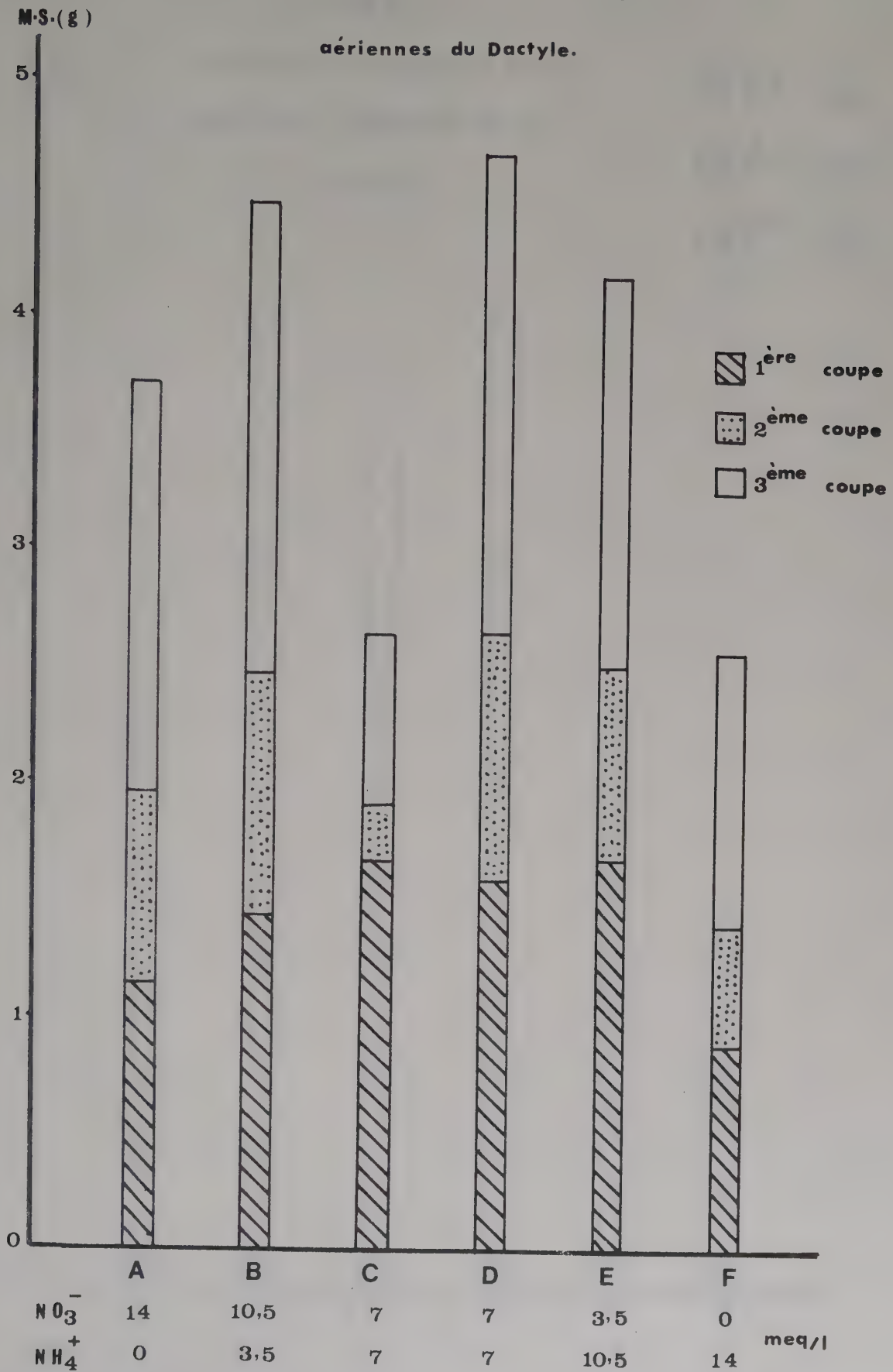


Fig 5

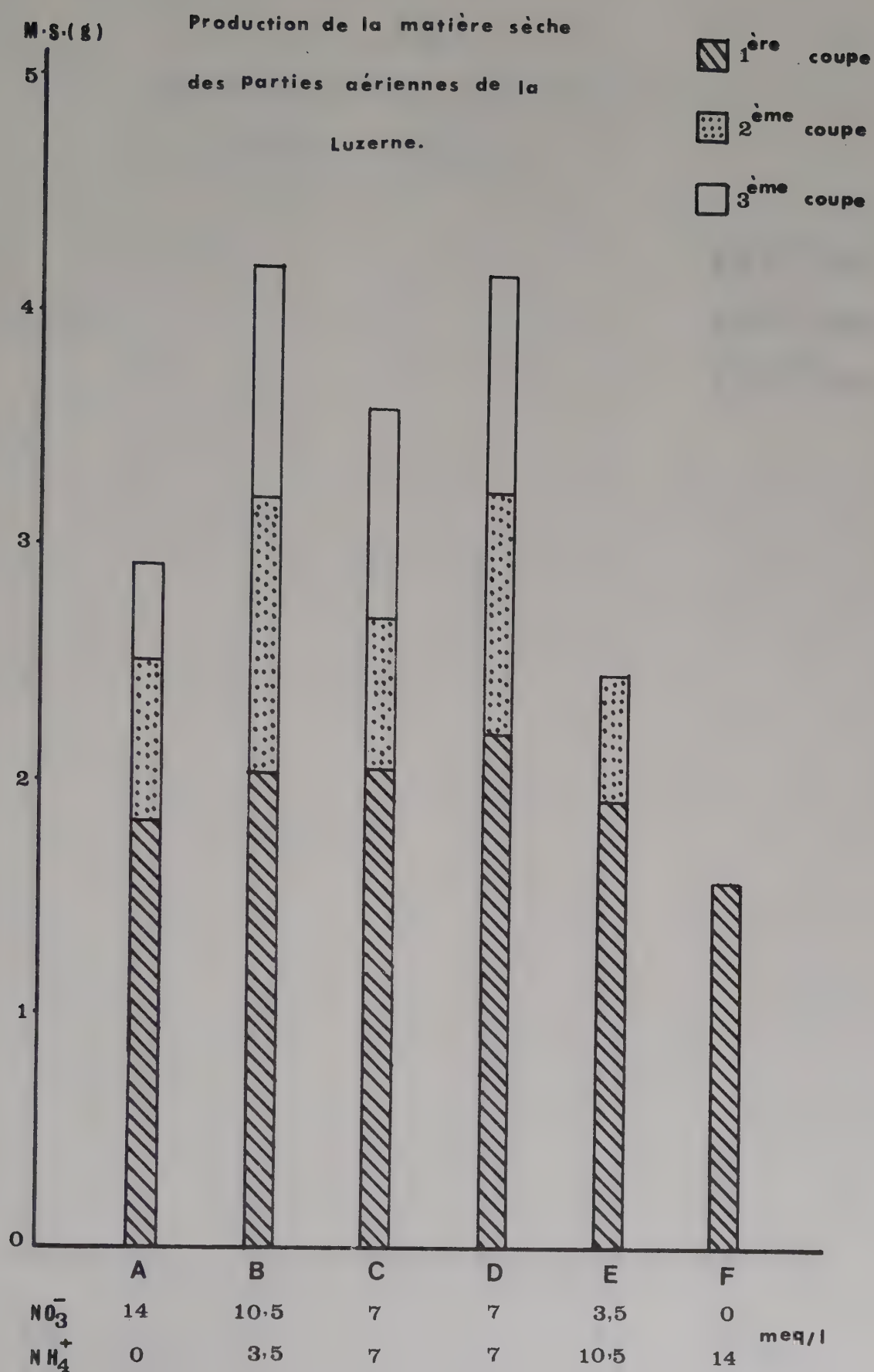
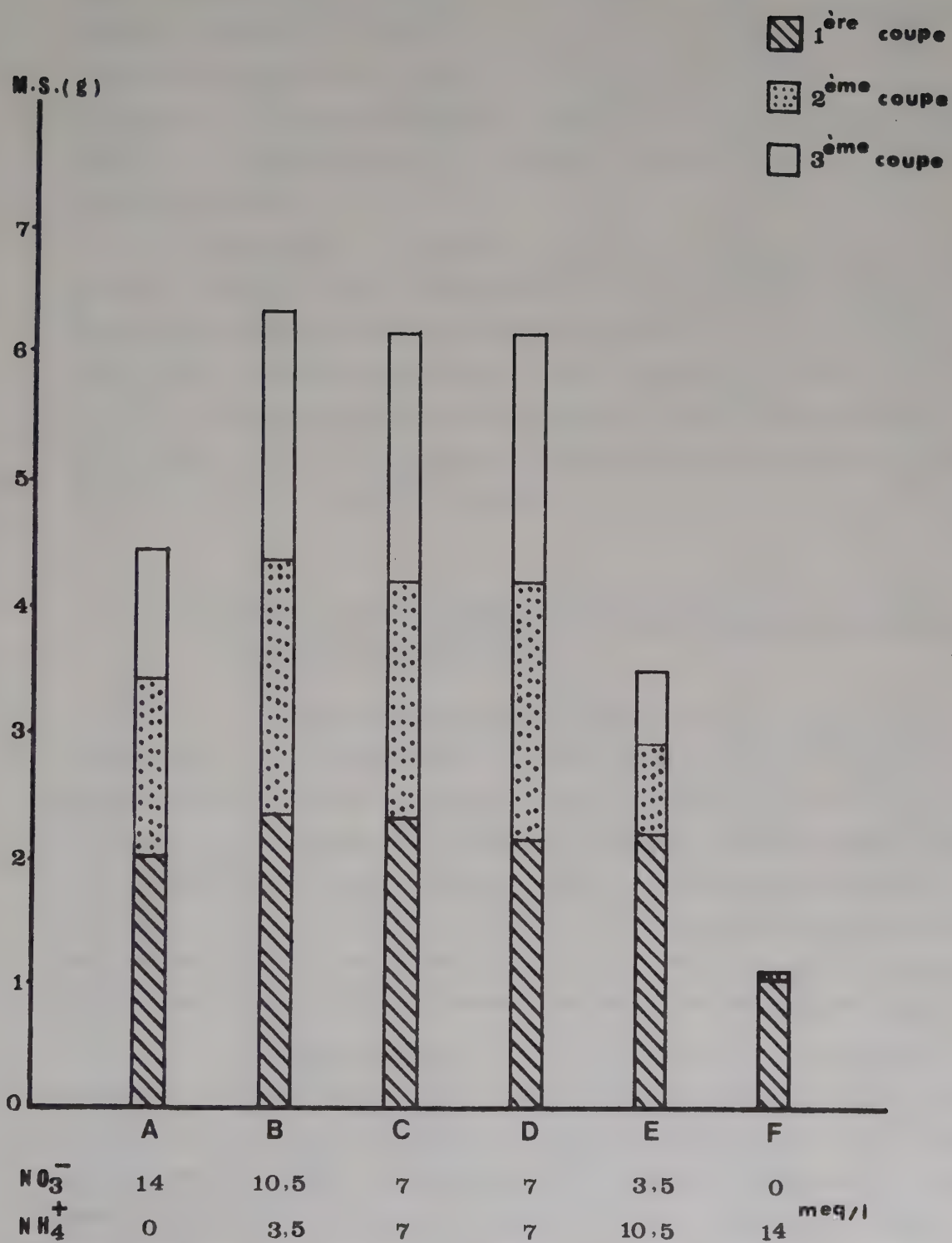


Fig 6

Production de la matière sèche des Parties

aériennes du Trèfle blanc.



La comparaison des cultures sur les milieux C et D révèle que dans l'expérience entreprise ici, la forme et la concentration des ions azotés ne sont pas seules en cause dans le comportement des plantes. En effet, le milieu D porte généralement des récoltes plus abondantes que le milieu C, or ces deux milieux contiennent des proportions et des concentrations identiques en ions NO_3^- et NH_4^+ . Ce sont les ions d'accompagnement qui diffèrent (milieu C contient l'azote sous forme $\text{NH}_4 \text{NO}_3$, et dans le milieu D, l'azote est apporté sous forme de $\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$, Na NO_3 , $\text{NH}_4 \text{Cl}$ et $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ tableau 2), et il est impossible de définir si c'est l'excédent de Cl^- du milieu C ou l'excédent de SO_4^{--} et de Na^+ du milieu D, qui provoque les différences constatées.

Le milieu exclusivement ammoniacal est défavorable à la production de racine. Pour les deux légumineuses, les racines comme les parties aériennes avaient disparu à la récolte de la troisième coupe. D'autre part, il n'apparaît pas de variation importante dans le rapport m.s. des parties aériennes/m.s. des racines en fonction des milieux de culture. On peut noter toutefois que ce rapport est toujours plus élevé pour les deux espèces de légumineuses que pour les deux espèces de graminées.

1.3.2. Composition azotée des plantes en fonction de la composition azotée du milieu nutritif

Le remplacement progressif dans le milieu nutritif de l'azote nitrique par l'azote ammoniacal, entraîne chez la plante d'une part une forte diminution de la teneur en azote nitrique, d'autre part, une augmentation de la teneur en azote ammoniacal. Mais les teneurs en azote ammoniacal du matériel végétal étant toujours beaucoup plus faibles que les teneurs en azote nitrique, la richesse en azote minéral des parties aériennes des plantes dépend essentiellement de la variation de leurs teneurs en azote nitrique. SCHRADER et Coll. (1972) ont obtenu des résultats semblables avec le Maïs.

L'examen des figures 7, 8, 9 et 10 met en évidence les points suivants : au stade jeune (1ère coupe), la teneur en azote total des parties aériennes des quatre espèces varie peu en fonction de la forme d'azote du milieu nutritif, mais le remplacement de l'azote nitrique du milieu par l'azote ammoniacal diminue la teneur en azote minéral et augmente la teneur en azote organique sans changement significatif de l'azote total. D'autre part, la

Fig 7

Pourcentage d'azote total dans les
Parties aériennes du Ray-grass.

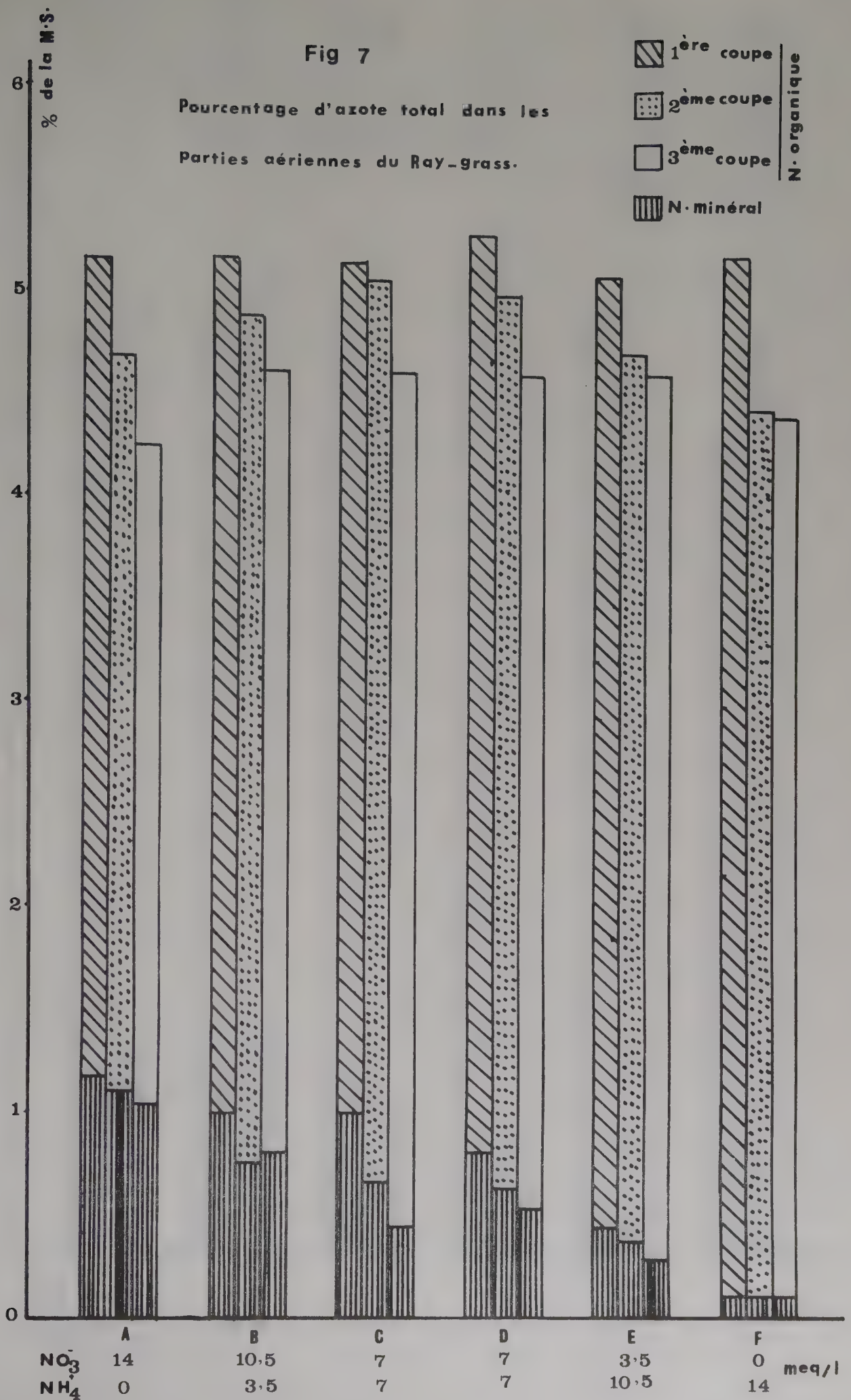
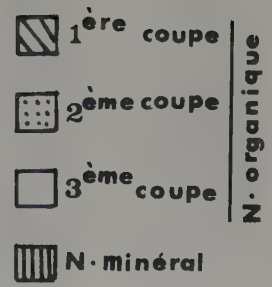


Fig 8

Pourcentage d'azote total dans les
Parties aériennes du Dactyle.

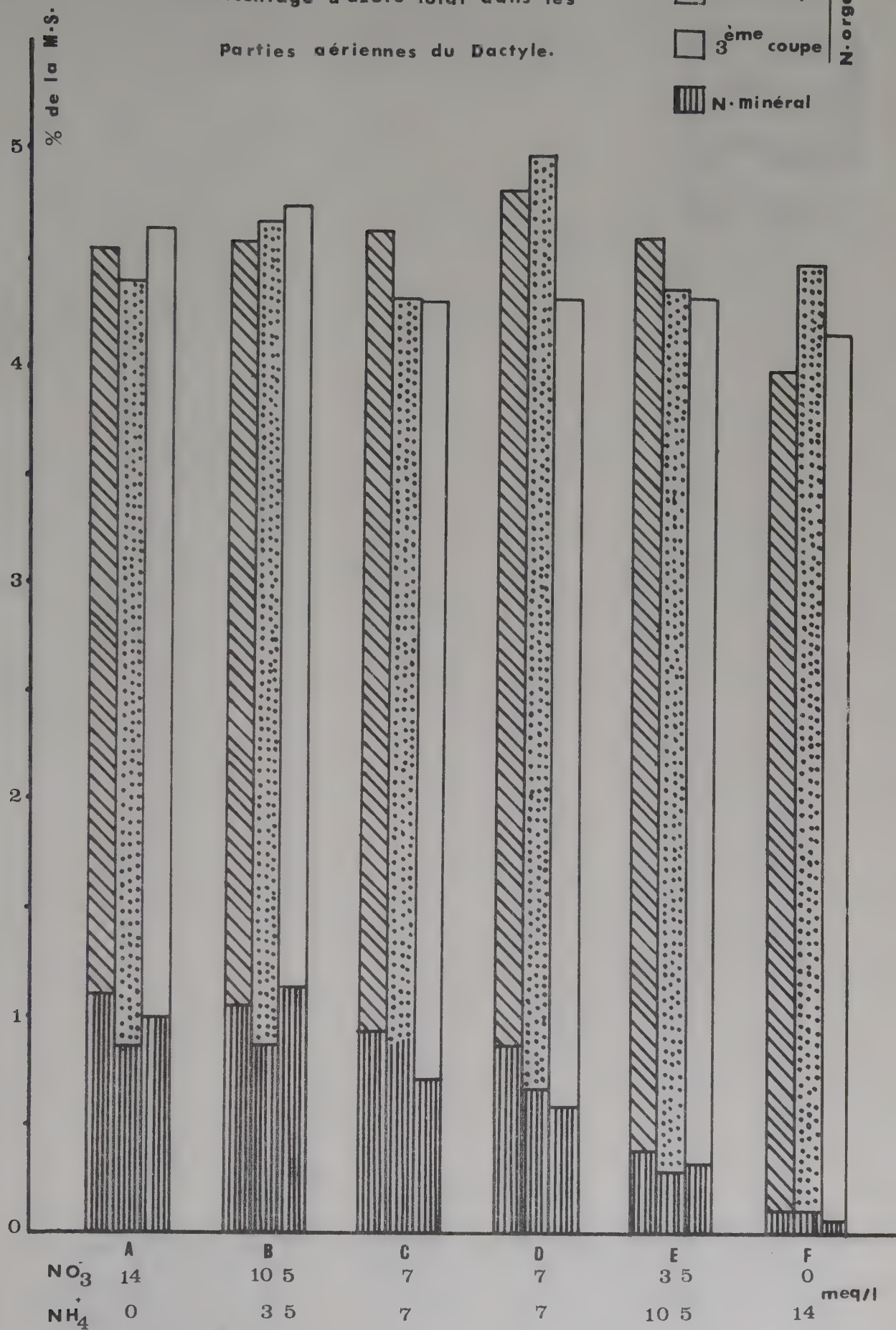
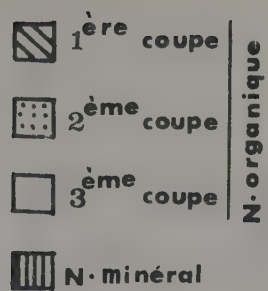


Fig 9

Pourcentage d'azote total dans les

Parties aériennes de la Luzerne.

 1^{ère} coupe
 2^{ème} coupe
 3^{ème} coupe
 N-minéral
 N-organique

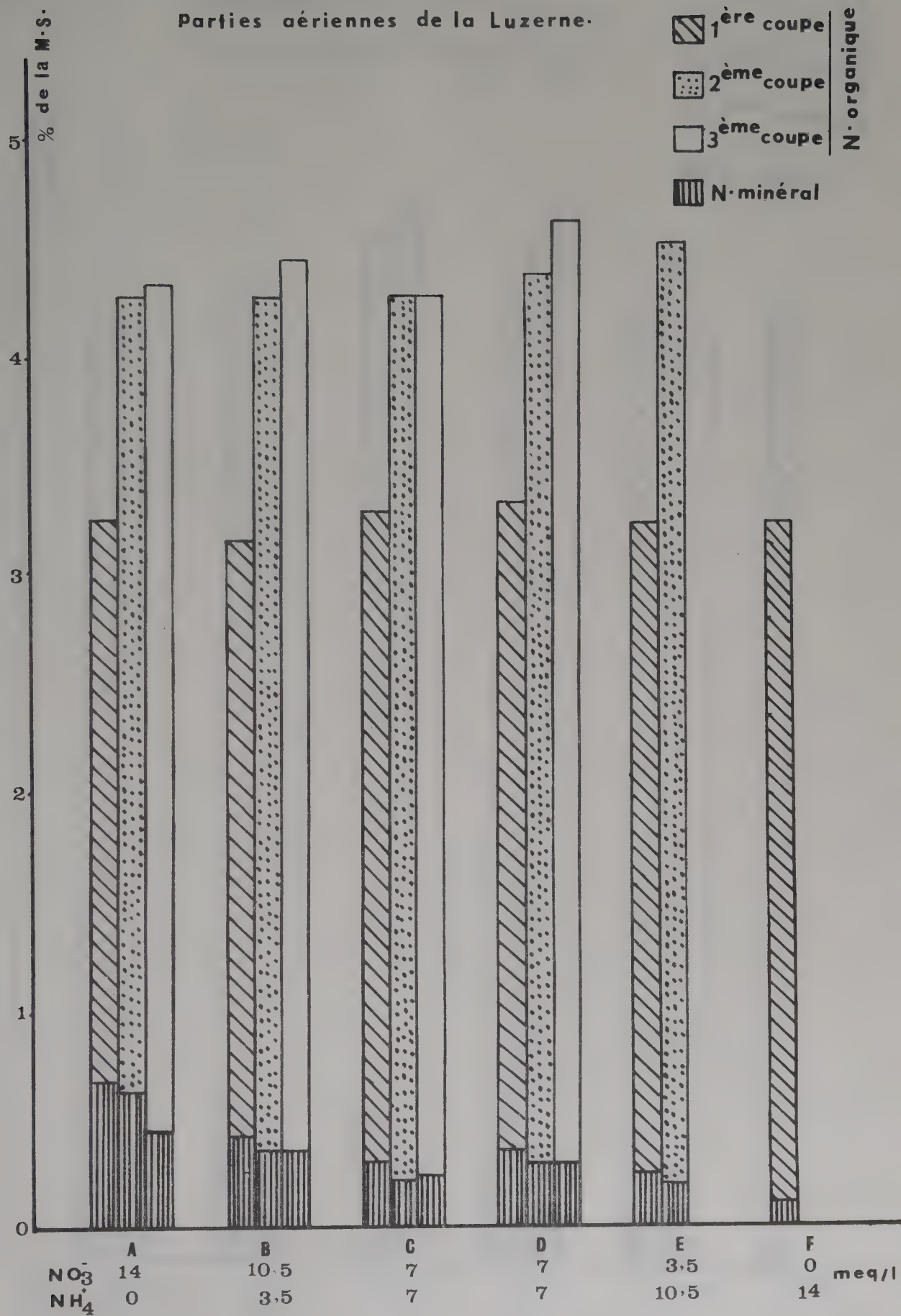


Fig 10

Pourcentage d'azote total dans les
Parties aériennes du Trèfle blanc

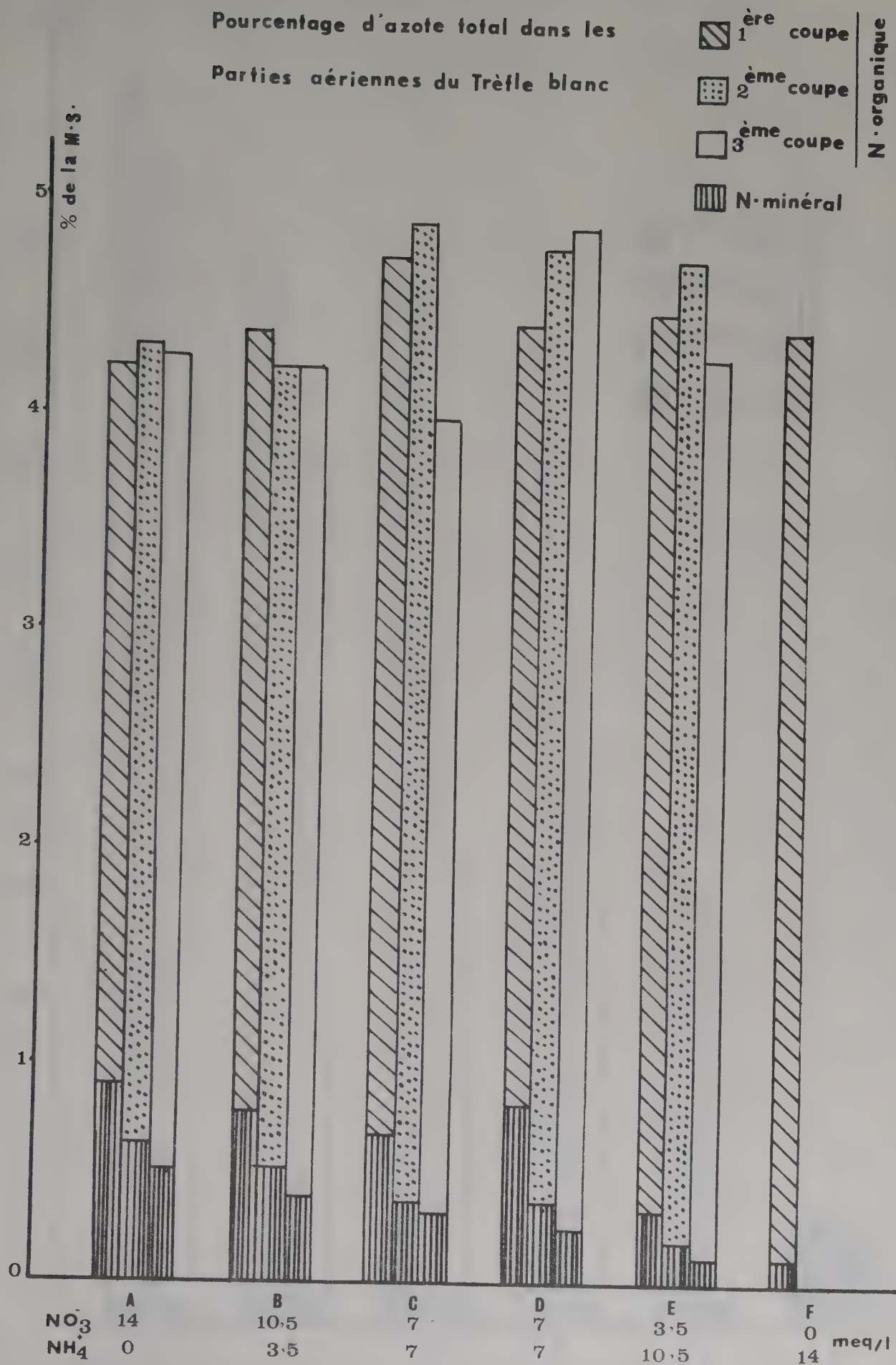
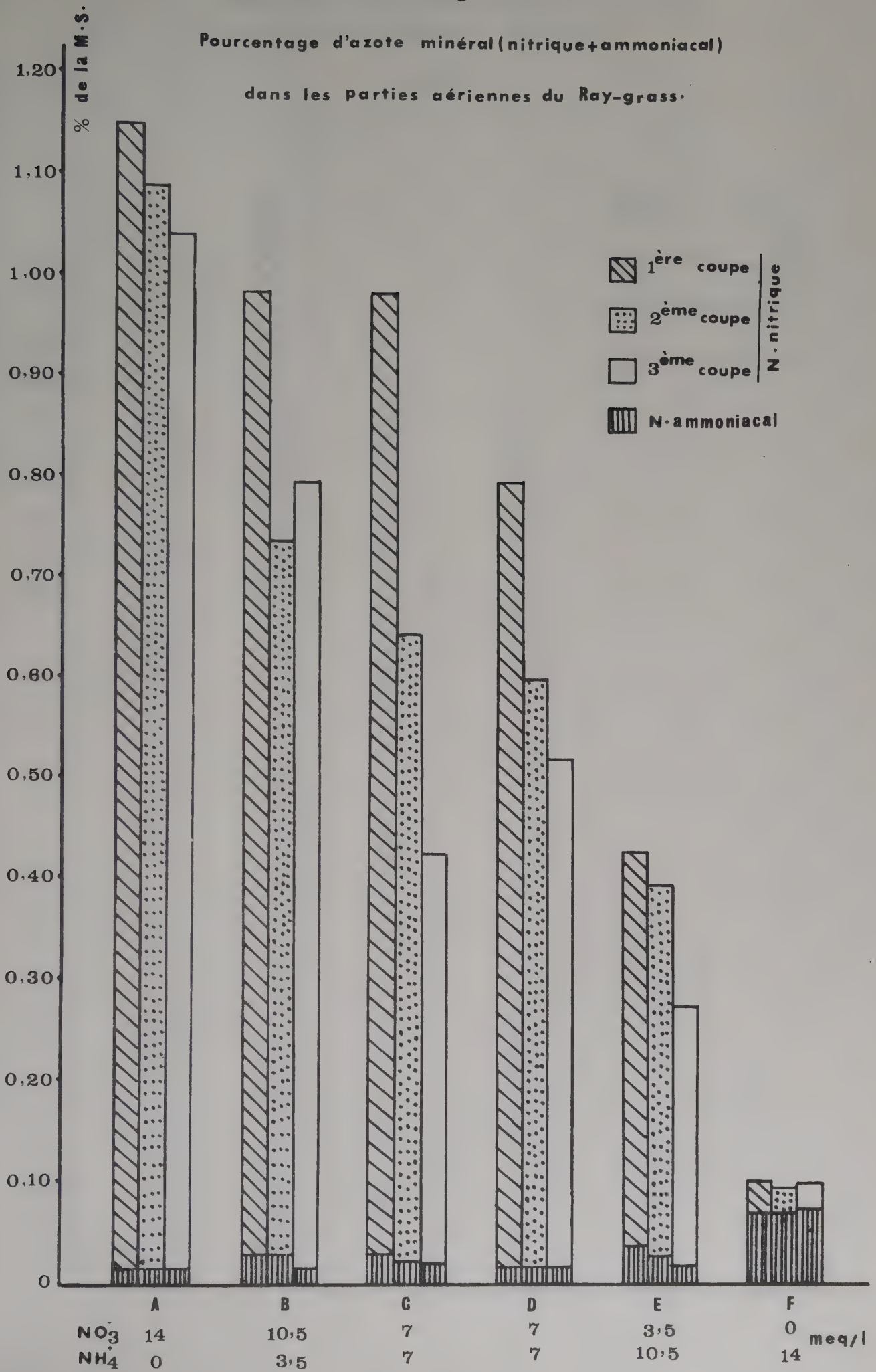


Fig 11

Pourcentage d'azote minéral (nitrique+ammoniacal)

dans les parties aériennes du Ray-grass.



Pourcentage d'azote minéral (Nitrique+Ammoniacal)
dans les parties aériennes du Dactyle

Fig 12

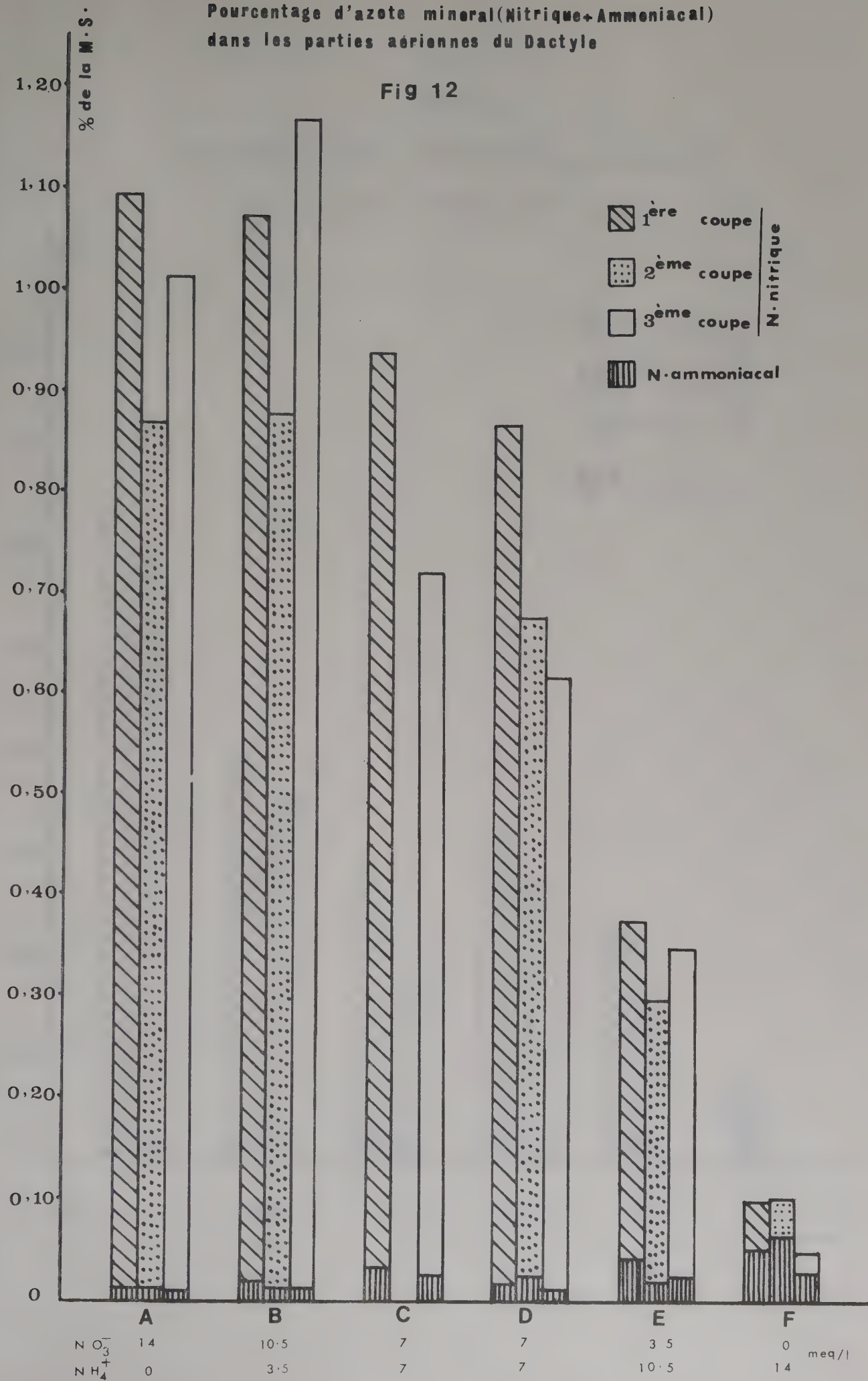


Fig 13

Pourcentage d'azote minéral (nitrique + ammoniacal)

dans les parties aériennes de la Luzerne.

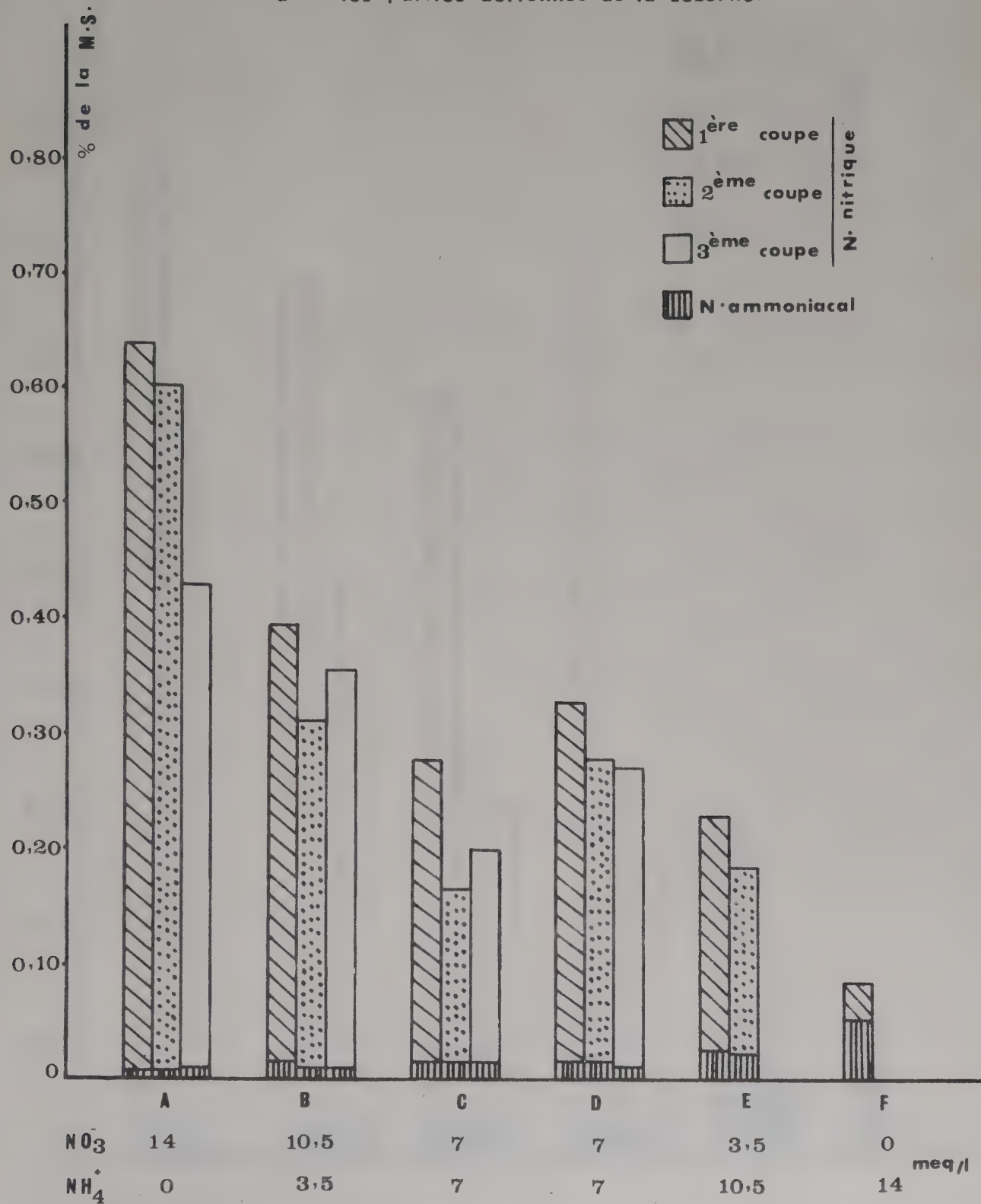
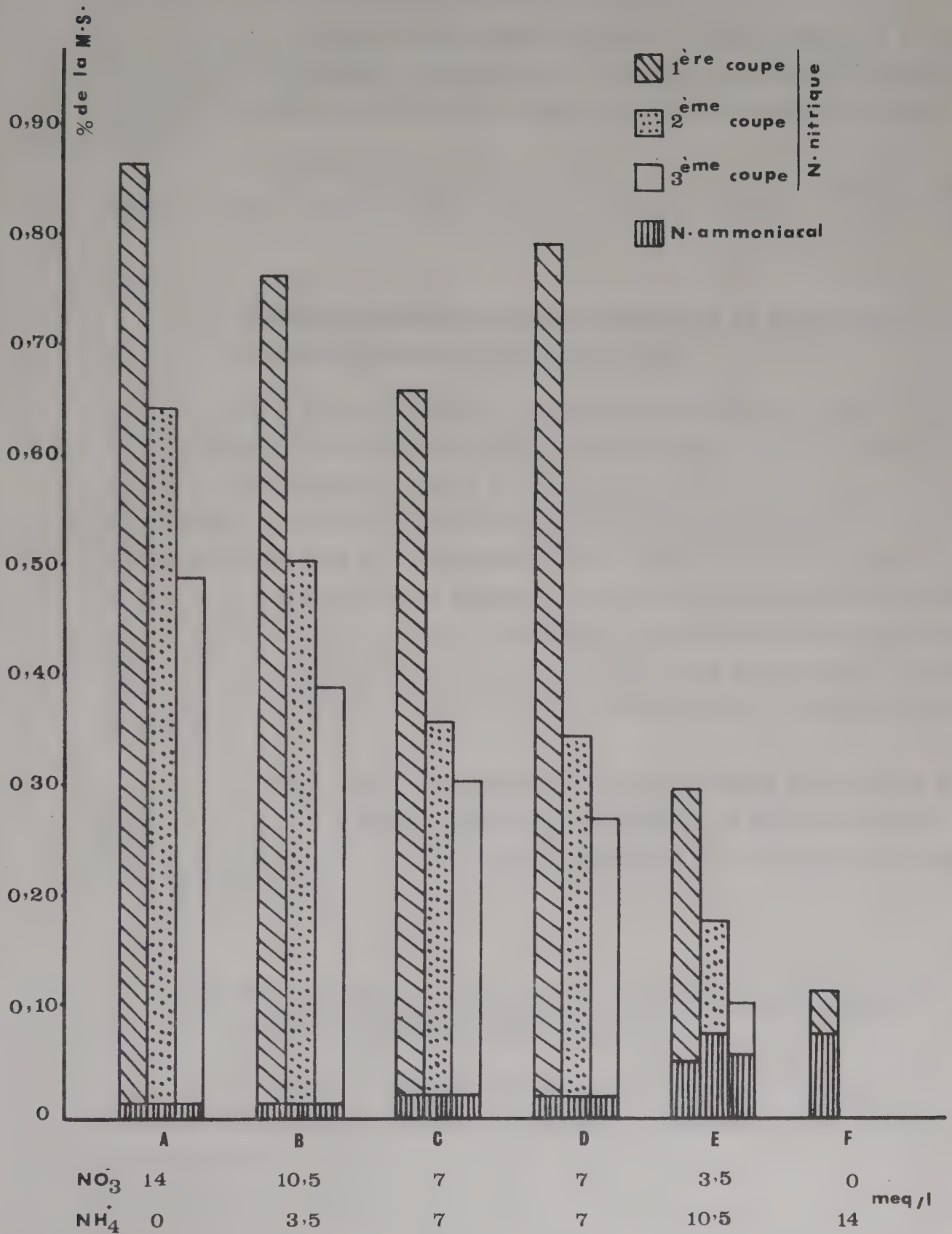


Fig 14

Pourcentage d'azote minéral (ammoniacal + nitrique)

dans les parties aériennes du Trèfle-blanc



teneur en azote total diminue, avec l'âge, dans les parties aériennes du Ray grass ; c'est l'inverse pour la Luzerne. Le Trèfle blanc et le Dactyle ne montrent pas de variations nettes sur ce point.

La teneur en azote minéral diminue aussi avec l'âge des plantes, ceci est particulièrement sensible chez le Ray grass et le Trèfle blanc et traduit l'aptitude particulière des jeunes plantules à accumuler des ions nitrate.

Au niveau des racines, pour les quatre espèces, la quantité maximale en azote total est donnée par les racines des cultures sur milieu D.

1.3.3. Teneur en phosphore des parties aériennes en fonction de la composition azotée du milieu nutritif

Pour les quatre espèces, la teneur en phosphore la plus faible est donnée par les cultures sur milieu nitrique (fig. 15, 16, 17 et 18).

NATR (1970) a étudié l'influence du déficit en éléments minéraux sur la quantité de N, P, K des feuilles d'orge (Hordeum vulgare L.), la forme d'azote utilisée dans ses expériences était l'azote nitrique. Il observe que la quantité la plus élevée de phosphore est caractéristique des feuilles des plantes déficitaires en azote ; au contraire, la quantité la plus élevée en azote total est mesurée dans les plantes déficitaires en phosphore. Ces faits démontrent qu'il existe une compétition d'absorption entre les ions nitrate et phosphate.

D'autre part, l'absorption de phosphore dépend de plusieurs facteurs, ainsi que de l'espèce végétale et de l'âge de la plante. Dans nos essais, les teneurs de la Luzerne en phosphore est plus faible que celle des trois autres espèces.

1.3.4. Teneur en potassium des parties aériennes en fonction de la composition azotée du milieu nutritif

En dépit de la faible amplitude des variations de teneur en potassium obtenues dans les divers traitements, on peut en tirer les conclusions suivantes :

Les deux espèces de légumineuses plus sensibles à l'effet toxique de l'ammoniaque, voient leur teneur en potassium diminuer dès que les ions NH_4^+ représentent plus du quart des ions azotés du milieu nutritif. Pour les deux espèces de graminées, l'effet dépressif de NH_4^+ sur la teneur en potassium ne se manifeste, et encore très faiblement, que lorsque la proportion des ions ammonium atteint ou dépasse la moitié de l'azote combiné dans le milieu nutritif (fig. 19, 20, 21 et 22).

Ces faits peuvent s'expliquer par l'antagonisme d'absorption connu entre les ions ammonium et les autres cations alimentaires. DEJAEGERE (1972) a montré chez l'orge, qu'en milieu ammoniacal, l'absorption des ions potassium et calcium est plus faible qu'en milieu nitrique, et ce, en raison d'un antagonisme entre K^+ et NH_4^+ ; mais la toxicité des milieux ammoniacaux ne peut cependant s'expliquer par ce seul antagonisme car, l'absorption de potassium dépend encore d'autres facteurs. Pour BARBIER (1936), il s'agit de la nature des ions présents dans le milieu, alors que pour HUNT et Coll. (1973) qui ont étudié l'influence de la lumière sur l'absorption du Ray grass en potassium, il s'agit de la lumière.

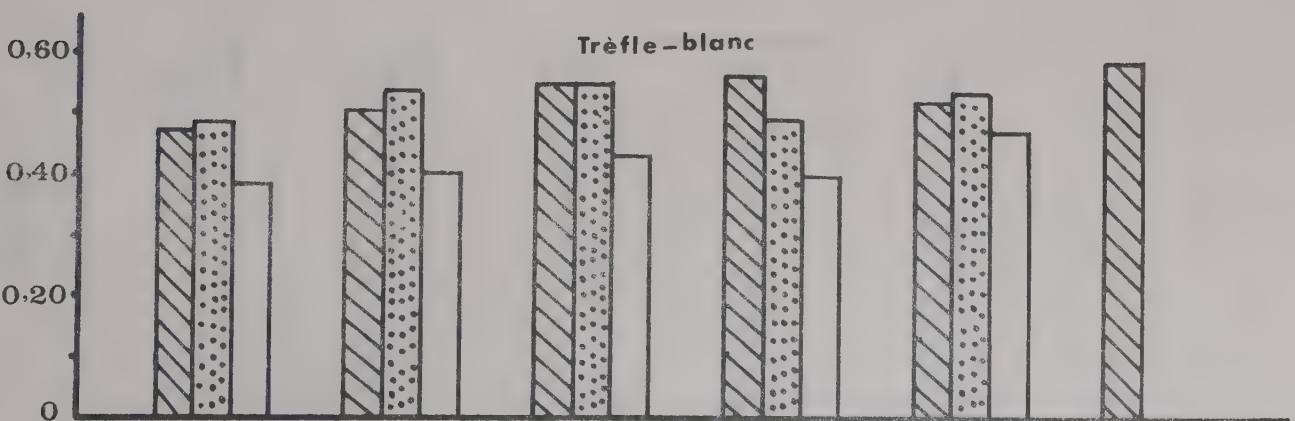
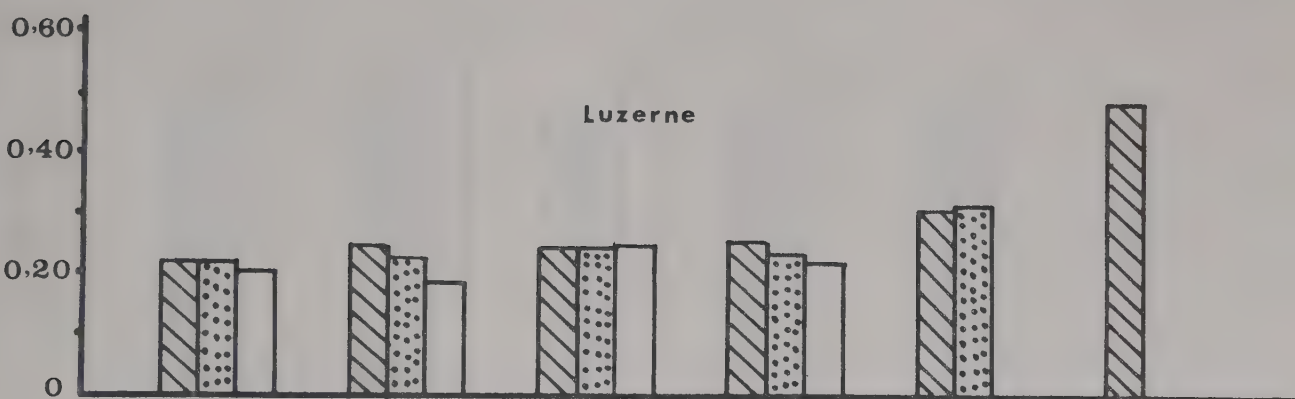
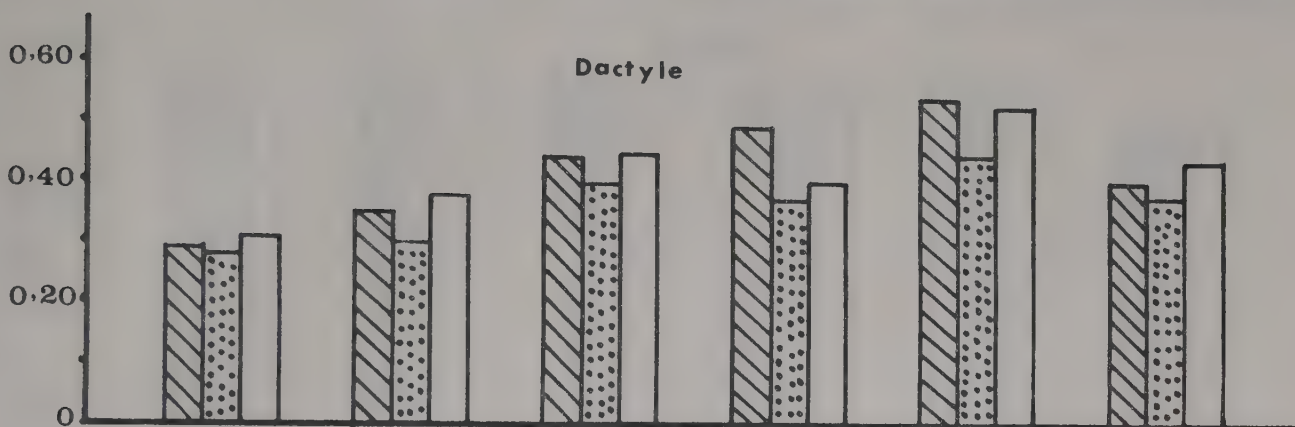
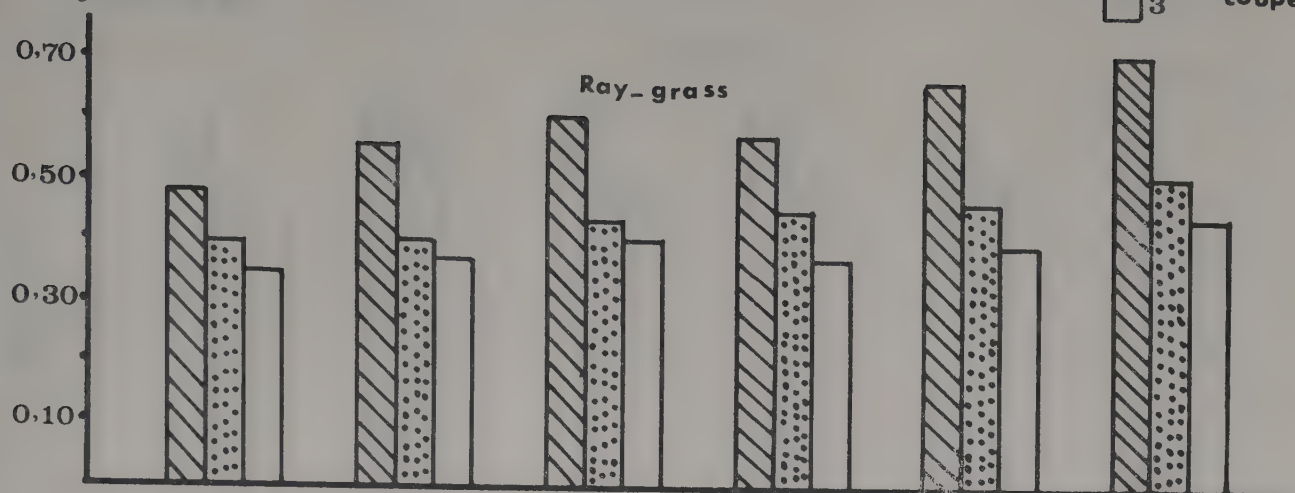
Fig 13
Fig 10
Fig 17
Fig 10

Pourcentage de Phosphore dans les

Parties aériennes de:

- 1^{ere} coupe
- 2^{eme} coupe
- 3^{eme} coupe

% de P (M.S.)



	A	B	C	D	E	F
NO ₃ ⁻	14	10.5	7	7	3.5	0
NH ₄ ⁺	0	3.5	7	7	10.5	14
	meq/l					

Pourcentage de Potassium dans les

Parties aériennes de:

1^{ère} coupe

2^{ème} coupe

3^{ème} coupe

% de K (M.S.)

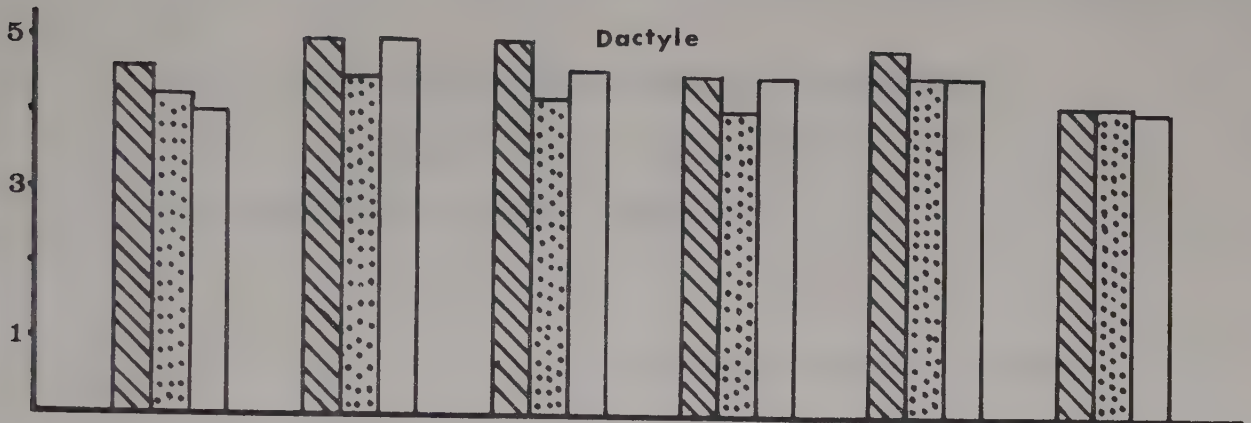
Ray-grass

Fig 19



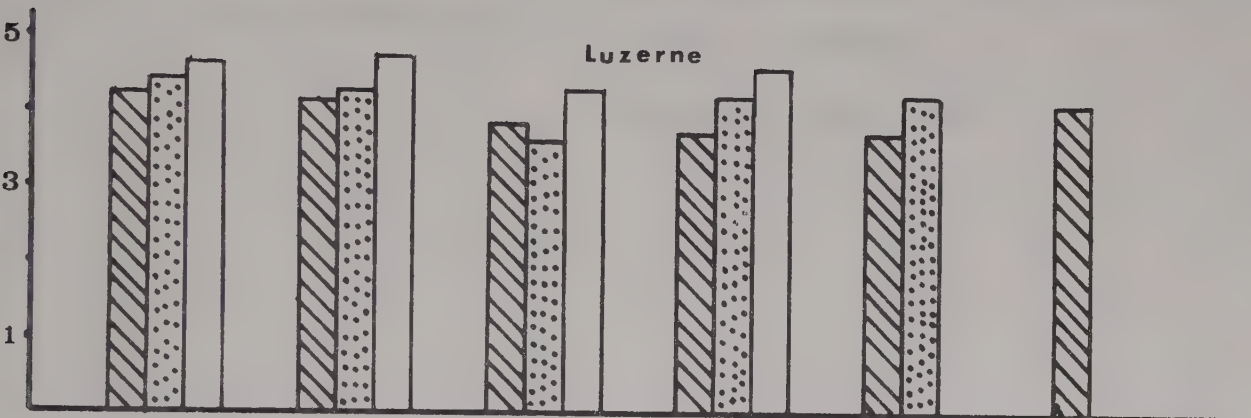
Dactyle

Fig 20



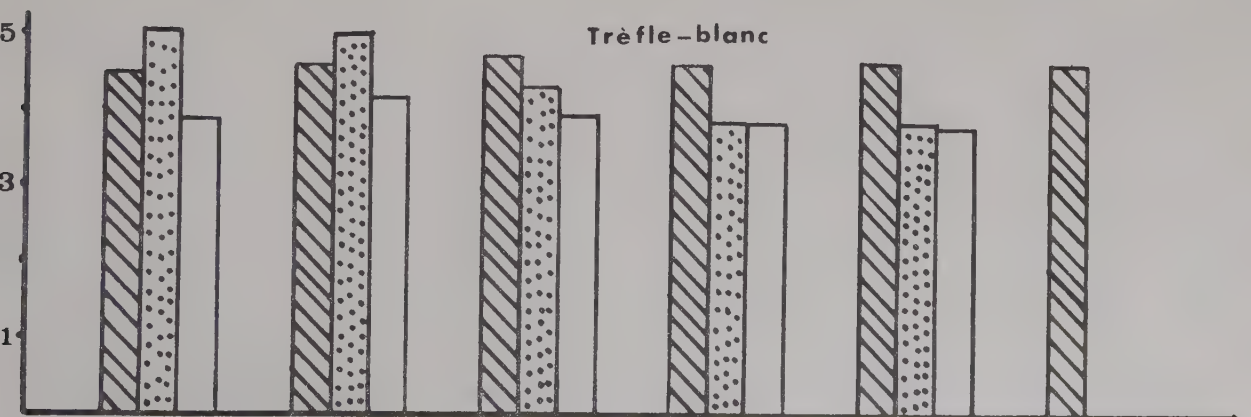
Luzerne

Fig 21



Trèfle-blanc

Fig 22



NO₃⁻
NH₄⁺

14

0

10.5
3.5

7

7

7

7

3.5
10.5

0

14

meq/l

P A R T I E I I

EFFET DE L ' ASSOCIATION GRAMINEE - LEGUMINEUSE
SUR LA CROISSANCE ET LA TENEUR EN N , P , K
DE CHACUNE DES ESPECES ETUDIEES.

MODES D'ASSOCIATION

	RAY GRASS D'ITALIE - LUZERNE
	RAY GRASS D'ITALIE - TREFLE BLANC
	DACTYLE - LUZERNE
	DACTYLE - TREFLE BLANC

2.1. M A T E R I E L S E T M E T H O D E S

=====

Le dispositif de culture utilisé est celui déjà décrit dans la première partie (cf. 1.1.2) ; dans chaque pot, 12 germinations ont été plantées : soit en culture pure 12 germinations de la même espèce, soit en culture mélangée 6 de chaque espèce. Pour ce faire, la surface du sable est partagée en quatre compartiments dans lesquels sont placées alternativement trois germinations de graminée et trois germinations de légumineuse, schéma ci-dessous (fig.23).

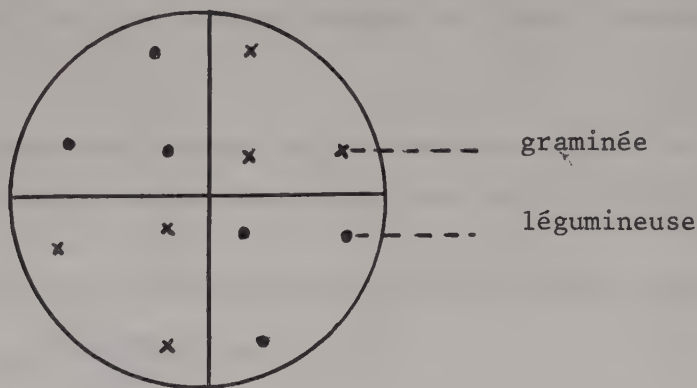


Fig. 23

L'ensemble des pots est partagé en trois lots, chaque lot est alimenté avec une des trois solutions nutritives dont la composition en azote est la suivante :

Composition azotée des solutions, exprimée en meq/l

	Nitrique (N)	Ammoniaco- nitrique (M)	Ammoniacal (A)
NO_3^-	7	3,5	0
NH_4^+	0	3,5	7

La composition chimique de ces solutions est identique à celle de l'expérience précédente, à l'exception de la concentration totale en azote combiné qui est de 7 meq/l (tableau 37), a pour but d'atténuer l'effet toxique du milieu exclusivement ammoniacal. On note également que le pH des solutions est ajusté et maintenu au voisinage de 6 par l'addition de 1,2 g/l de Ca CO_3 .

Les méthodes de germination, de mesure et d'analyse sont celles utilisées dans la première partie (cf. 1.1.), et les cultures sont faites dans une pièce orientée au Nord et éclairée naturellement ; la température varie entre +20°C et +25°C. De plus, les plantes reçoivent un éclairage artificiel de 16 heures par jour sous un panneau de tubes fluorescents SYLVANIA GRO LUX 400 W/m².

Les analyses sont faites sur les matières sèches de trois coupes successives, pour chaque espèce dont la culture comporte les étapes suivantes :

ensemencement $\xrightarrow{3 \text{ jours}}$ repiquage $\xrightarrow{30 \text{ jours}}$ 1ère coupe $\xrightarrow{15 \text{ jours}}$
2ème coupe $\xrightarrow{15 \text{ jours}}$ 3ème coupe.

Pour avoir le même nombre de plantes de chacune des espèces, en culture mélangée et en culture pure, on met en oeuvre quatre répétitions pour les cultures mélangées et deux répétitions pour chaque culture pure, ce qui fait au total, 24 plantes de chacune des espèces en culture pure et en culture mélangée, par traitement.

Tableau 37

Composition en éléments majeurs des solutions
utilisées dans la 2ème partie (exprimée en meq/l)

	Solution nitrique						Solution ammoniaco-nitrique						Solution ammoniacale					
anions cations	H ₂ PO ₄ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Total	H ₂ PO ₄ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Total	H ₂ PO ₄ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Total			
K ⁺	2		2,5		4,5	2		2,5		4,5	2		2,5		4,5			
Ca ⁺⁺				5	5,0		5			5,0		5			5,0			
Mg ⁺⁺			2		2,0			2		2,0			2		2,0			
Na ⁺				2	2,0					-					-			
NH ₄ ⁺					-				3,5	3,5		3,5	3,5		7,0			
Total	2	-	4,5	7	13,5	2	5	4,5	3,5	15,0	2	8,5	8,0	-	18,5			

A B R E V I A T I O N S

Avant de donner les résultats, nous donnerons ci-dessous l'abréviation et les symboles utilisés dans le texte et les tableaux de cette deuxième partie.

Sol. A = Solution Ammoniacale.

Sol. N = Solution Nitrique.

Sol. M = Solution Ammoniac-Nitrique.

m.s. = matière sèche.

m.f. = matière fraîche

R.R. = résultats concernant le Ray grass en culture pure.

R.L. = " " " en mélange avec la Luzerne.

R.T. = " " " en mélange avec le Trèfle blanc.

D.D. = résultats concernant le Dactyle en culture pure.

D.L. = " " " en mélange avec la Luzerne.

D.T. = " " " en mélange avec le Trèfle blanc

L.L. = résultats concernant la Luzerne en culture pure.

L.R. = " " " en mélange avec le Ray grass.

L.D. = " " " en mélange avec le Dactyle.

T.T. = résultats concernant le Trèfle blanc en culture pure.

T.R. = " " " " en mélange avec le Ray grass.

T.D. = " " " " en mélange avec le Dactyle.

2.2. RESULTATS ET OBSERVATIONS

=====

D'abord, nous comparerons les résultats de chacune des espèces en culture mélangée et en culture pure, puis nous examinerons les résultats de chaque association graminée-légumineuse.

2.2.1. Nombre de plantes vivantes et hauteur de ces plantes

2.2.1.1. Ray grass d'Italie

Le tableau 38 montre qu'il n'y a presque pas de perte de plantules du Ray grass jusqu'à la première coupe ; phénomène sur lequel n'intervient pas, à cet âge, la présence de Luzerne ou de Trèfle blanc, quelle que soit la forme d'azote du milieu nutritif.

A la deuxième coupe, nous constatons qu'il n'y a toujours pas de perte sur le milieu nitrique, que la perte est sensible sur le milieu ammoniacal-nitrique, et qu'elle est plus nette encore sur le milieu ammoniacal. Cette diminution du nombre des plantes du Ray grass sur milieu ammoniacal est considérablement marquée à la troisième coupe. D'autre part, il semble que la perte du Ray grass associé avec le Trèfle blanc est moins sensible que celle du Ray grass associé avec la Luzerne ou celle du Ray grass en culture pure ; mais le facteur déterminant essentiel est certainement la teneur du milieu nutritif en ions ammonium.

D'après les résultats de mesure concernant la hauteur des plantes, il ressort que :

- La croissance aérienne du Ray grass cultivé sur le milieu ammoniacal, aux trois coupes successives, est bien inférieure à celle du Ray grass cultivé sur milieu nitrique ou ammoniacal-nitrique ; il en est de même en culture mélangée avec la Luzerne ou avec le Trèfle blanc.

- Quelle que soit la forme d'azote dans le milieu nutritif, la croissance en hauteur du Ray grass associé avec la Luzerne ou avec le Trèfle blanc est supérieure à celle obtenue en culture pure.

- Le rapport matière sèche des parties aériennes/hauteur est généralement moins élevé en culture pure qu'en culture mélangée avec une légumineuse (sur milieux nitrique et ammoniacal-nitrique).

2.2.1.2. Dactyle

Dans le tableau 39, sont indiqués les résultats du nombre des plantules vivantes du Dactyle à chaque coupe, et leur hauteur moyenne. La perte des plantules de Dactyle est très faible, et nous retrouvons à chaque coupe à peu près le même nombre de plantes qu'au repiquage.

La présence d'une légumineuse n'a donc pas d'action sur le nombre des plantules du Dactyle.

Quant à la hauteur de ces plantes, nous constatons que sur le milieu nitrique, et de façon moins nette sur le milieu ammoniacal, la croissance du Dactyle associé avec la Luzerne ou avec le Trèfle blanc est favorisée par rapport à celle de sa culture pure. Sur le milieu ammoniaco-nitrique, on observe parfois une légère diminution de la croissance du Dactyle associé. D'autre part, la hauteur des plantes cultivées sur milieu ammoniacal est plus faible que celle des plantes cultivées sur les deux autres milieux.

Enfin, le rapport matière sèche des parties aériennes/hauteur est généralement moins élevé en culture pure.

2.2.1.3. Luzerne

L'analyse du tableau 40 met encore en évidence la toxicité très nette du milieu ammoniacal qui empêche la repousse de la Luzerne.

La perte des plantules à la première coupe n'est pas importante, mais aux deux coupes suivantes, sur milieu exclusivement ammoniacal, nous remarquons peu de repousse de Luzerne, soit en culture pure, soit en culture mélangée.

En ce qui concerne l'influence de l'association Luzerne-Ray grass ou Luzerne-Dactyle sur le nombre des plantes de Luzerne, nous constatons que par rapport à la culture pure, la présence d'une graminée diminue de façon sensible les repousses de la Luzerne aux deuxième et troisième coupes. Ces faits laissent supposer que la Luzerne est recouverte par la graminée, dont la croissance plus rapide gêne en particulier l'éclairement de la Luzerne.

Pour la hauteur de la Luzerne, un léger effet favorable de l'association sur la croissance en hauteur a été remarqué à la première coupe, alors qu'aux deux coupes suivantes, la hauteur de la Luzerne associée avec

le Ray grass ou avec le Dactyle, diminue par rapport à celle de sa culture pure. Les résultats obtenus sur le milieu ammoniacal ne peuvent être pris en considération, étant donné le petit nombre de plantes récolté à partir de la deuxième coupe.

Toutefois, il semble que la Luzerne supporte mieux le voisinage du Dactyle que celui du Ray grass d'Italie.

2.2.1.4. Trèfle blanc

Les résultats obtenus pour le Trèfle blanc, concernant le nombre des plantes vivantes et la hauteur, sont identiques à ceux obtenus pour la Luzerne (tableau 41) : la présence du Ray grass ou du Dactyle diminue le nombre des plantes vivantes et la hauteur du Trèfle blanc, par rapport aux résultats obtenus pour sa culture pure. Cette diminution est peu considérable sur le milieu nitrique, assez sensible sur le milieu ammoniaconitrique et remarquable sur le milieu ammoniacal.

Nombre moyen des plantes vivantes, hauteur moyenne de ces plantes et Relation entre la matière sèche et la hauteur du

Ray grass

Milieu	Mode d'association	Nombre moyen des plantes (sur 24)			Hauteur moyenne mm			Relation entre m.s./hauteur mg/mm		
		1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe
Nitrique	R.R.	24	24	22	335	280	240	11,9	8,5	8,3
	R.L.	24	24	24	367	317	266	17,7	14,6	14,9
	R.T.	24	24	24	351	336	288	16,7	14,1	16,8
Ammoniac-nitrique	R.R.	24	23	17	340	270	190	15,4	9,4	5,4
	R.L.	24	23	18	400	300	226	21,4	17,6	18,9
	R.T.	23	21	19	380	325	203	23,0	15,1	15,3
Ammoniacal	R.R.	24	13	7	280	145	135	15,7	7,2	4,4
	R.L.	24	14	5	302	125	161	15,4	6,2	0,7
	R.T.	23	13	10	355	165	178	15,6	9,5	6,7

Tableau 39

Nombre des plantes vivantes, hauteur moyenne de ces
plantes et Relation entre la matière sèche et la
hauteur du Dactyle

	Mode d'association	Nombre des plantes (sur 24)			Hauteur moyenne mm			Relation entre m.s./hauteur mg/mm		
		1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe
Milieu	D.D.	24	24	24	360	255	195	6,9	8,1	13,6
	D.L.	24	24	24	397	287	256	8,2	8,8	11,3
	D.T.	22	22	22	452	331	264	8,0	10,5	15,3
Nitrique	D.D.	24	24	23	380	280	210	8,3	12,7	17,3
	D.L.	23	23	23	371	245	253	9,4	12,2	14,8
	D.T.	23	23	23	410	256	193	11,1	15,2	16,7
Ammoniacal	D.D.	23	22	22	310	140	180	8,1	4,0	7,2
	D.L.	24	21	21	315	150	183	6,6	5,0	7,9
	D.T.	24	24	24	354	158	186	8,5	9,2	9,9

Tableau 40

Nombre des plantes vivantes, hauteur moyenne de ces plantes
et Relation entre la matière sèche et la hauteur de la

Luzerne

Milieu	Mode d'association	Nombre des plantes (sur 24)			Hauteur moyenne mm			Relation entre m.s./hauteur mg/mm		
		1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe
Nitrique	L.L.	24	24	24	315	345	151	11,3	6,4	9,8
	L.R.	24	22	17	330	197	82	10,3	6,4	8,3
	L.D.	24	24	21	362	272	97	9,9	6,7	6,9
Ammoniacal- nitrique	L.L.	24	23	22	285	330	168	11,6	8,6	11,2
	L.R.	23	19	14	305	205	90	11,1	7,7	8,5
	L.D.	24	22	13	349	240	132	11,2	9,2	6,8
Ammoniacal	L.L.	24	1	1	180	100	50	10,0	0,3	0,4
	L.R.	22	2	1	189	160	50	6,5	0,5	0,4
	L.D.	23	2	0	192	165	-	7,2	0,5	-

Tableau 41

Nombre des plantes vivantes, hauteur moyenne de ces plantes
et Relation entre la matière sèche et la hauteur du
Trèfle blanc

Milieu	Mode d'association	Nombre des plantes (sur 24)			Hauteur moyenne mm			Relation entre m.s./hauteur mg/mm		
		1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe
Nitrique	T.T.	24	24	24	126	93	83	10,9	7,5	10,2
	T.R.	24	24	16	130	85	63	9,2	6,3	8,1
	T.D.	24	23	23	130	70	78	11,0	11,7	9,1
Ammoniacal-nitrique	T.T.	23	23	23	140	110	90	15,4	11,5	12,5
	T.R.	24	16	15	124	68	55	10,9	5,0	5,3
	T.D.	24	22	18	130	65	55	16,5	10,8	10,7
Ammoniacal	T.T.	21	8	7	110	65	70	10,0	2,3	2,6
	T.R.	22	3	2	105	40	50	7,6	1,5	1,0
	T.D.	23	3	1	128	33	50	11,2	1,5	0,8

2.2.2. Influence du mode d'association sur la production de matière végétale des parties aériennes de chaque espèce

On compare, pour chaque espèce, le poids de matière sèche, le poids de matière fraîche et la teneur en matière sèche des parties aériennes, obtenus en cultures pures et en cultures mélangées.

2.2.2.1. Ray grass d'Italie

Le tableau 42 et la figure 24 montrent que le Ray grass associé à la Luzerne ou au Trèfle blanc a un rendement plus élevé qu'en culture pure. Cet effet favorable de l'association graminée-légumineuse, sur le rendement en matière végétale du Ray grass, est très marqué à chaque coupe, notamment sur milieu nitrique et milieu ammoniac-nitrique.

Sur l'ensemble des trois coupes, le rendement le plus élevé en matière végétale des parties aériennes appartient au Ray grass associé avec la Luzerne et cultivé sur milieu ammoniac-nitrique.

En ce qui concerne la teneur en matière sèche des parties aériennes, on peut faire les observations suivantes :

- En culture pure ou mélangée, à chaque coupe, les plantes cultivées sur le milieu ammoniacal renferment une teneur en matière sèche plus élevée que celles cultivées sur les deux autres milieux.

- A chaque coupe, les plantes ont une teneur en matière sèche légèrement plus élevée qu'à la coupe précédente ; ceci est observé sur tous les milieux nutritifs.

- Sur un milieu nutritif donné, il y a peu de différence entre la teneur en matière sèche des cultures pures et celle des cultures mélangées.

2.2.2.2. Dactyle

Le tableau 43 et la figure 25 montrent que la présence de la Luzerne augmente la production de matière végétale du Dactyle cultivé sur le milieu nitrique, mais sur les deux autres milieux, elle ne l'influence pas. Par contre, l'association Dactyle-Trèfle Blanc met en évidence un effet favorable du Trèfle blanc sur le Dactyle, se traduisant par l'augmentation

de la production de matière végétale du Dactyle, quelle que soit la forme d'azote du milieu nutritif.

En analysant les résultats de la production du Dactyle sur chaque milieu nutritif, nous retrouvons le rendement le plus élevé pour l'association avec le Trèfle blanc ; tandis que la production du Dactyle cultivé sur milieu ammoniacal est toujours inférieure à celle obtenue sur d'autres milieux ; ce qui confirme les résultats obtenus dans la première partie (cf. 1.2.2.2.).

La teneur en matière sèche des parties aériennes du Dactyle est toujours plus élevée dans les cultures sur milieu ammoniacal.

2.2.2.3. Luzerne

L'association avec le Ray grass ou avec le Dactyle a peu d'influence sur la production de matière végétale de la Luzerne à la première coupe (tableau 44 et fig. 26). A partir de la deuxième coupe, et surtout à la troisième coupe, nous observons une diminution considérable du rendement de Luzerne associée avec l'une de ces graminées, par rapport à celui de sa culture pure.

Sur tous les milieux nutritifs, le rendement de la Luzerne est moins élevé en culture mélangée qu'en culture pure. D'autre part, en comparant les effets des trois milieux nutritifs utilisés, les résultats sont identiques à ceux obtenus dans la première partie du travail : la toxicité du milieu exclusivement ammoniacal apparaît dès la première coupe de Luzerne, ensuite aux deux coupes suivantes, cette toxicité devient très importante en entraînant le jaunissement, le dessèchement, puis la mort des plantes.

Enfin, les plantes cultivées sur milieu ammoniacal ont la teneur la plus élevée en matière sèche.

2.2.2.4. Trèfle blanc

Tout d'abord, les résultats confirment l'effet défavorable du milieu ammoniacal sur la production en matière végétale du Trèfle blanc, déjà observé dans la première partie (cf 1.2.4.1.).

matière sèche, matière fraîche et rapport m.s./m.f. des parties
aériennes du Ray grass d'Italie, en culture pure et en culture
mélangée (1).

Milieu	Mode d'association	1ère coupe			2ème coupe			3ème coupe			Total de 3 coupes		
		m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.
Nitrique	R.R.	4,00	43,00	9,3	2,38	25,35	9,3	2,00	19,75	10,1	8,38	88,10	9,5
	R.L.	6,50	63,40	10,2	4,65	46,50	10,0	3,97	34,00	11,7	15,12	143,90	10,5
	R.T.	5,85	61,40	9,5	4,73	45,60	10,4	4,83	43,30	11,2	15,41	150,30	10,3
Ammoniacal-nitrique	R.R.	5,25	56,50	9,3	2,55	26,60	9,6	1,02	9,00	11,3	8,82	92,10	9,6
	R.L.	8,55	83,70	10,2	5,27	56,60	9,3	4,27	36,45	11,7	18,09	176,75	10,2
	R.T.	8,75	89,90	9,7	4,92	50,70	9,7	3,10	28,15	11,1	16,77	168,75	9,9
Ammoniacal	R.R.	4,40	42,00	10,5	1,04	9,05	11,5	0,60	3,85	15,6	6,04	54,90	11,0
	R.L.	4,65	40,80	11,4	0,77	7,15	10,8	0,12	0,80	15,0	5,54	48,75	11,4
	R.T.	5,55	49,70	11,2	1,57	14,00	11,2	1,20	7,70	15,6	8,32	71,40	11,6

(1) Total de quatre répétitions pour les cultures mélangées ou deux répétitions de cultures pures.

Fig 24

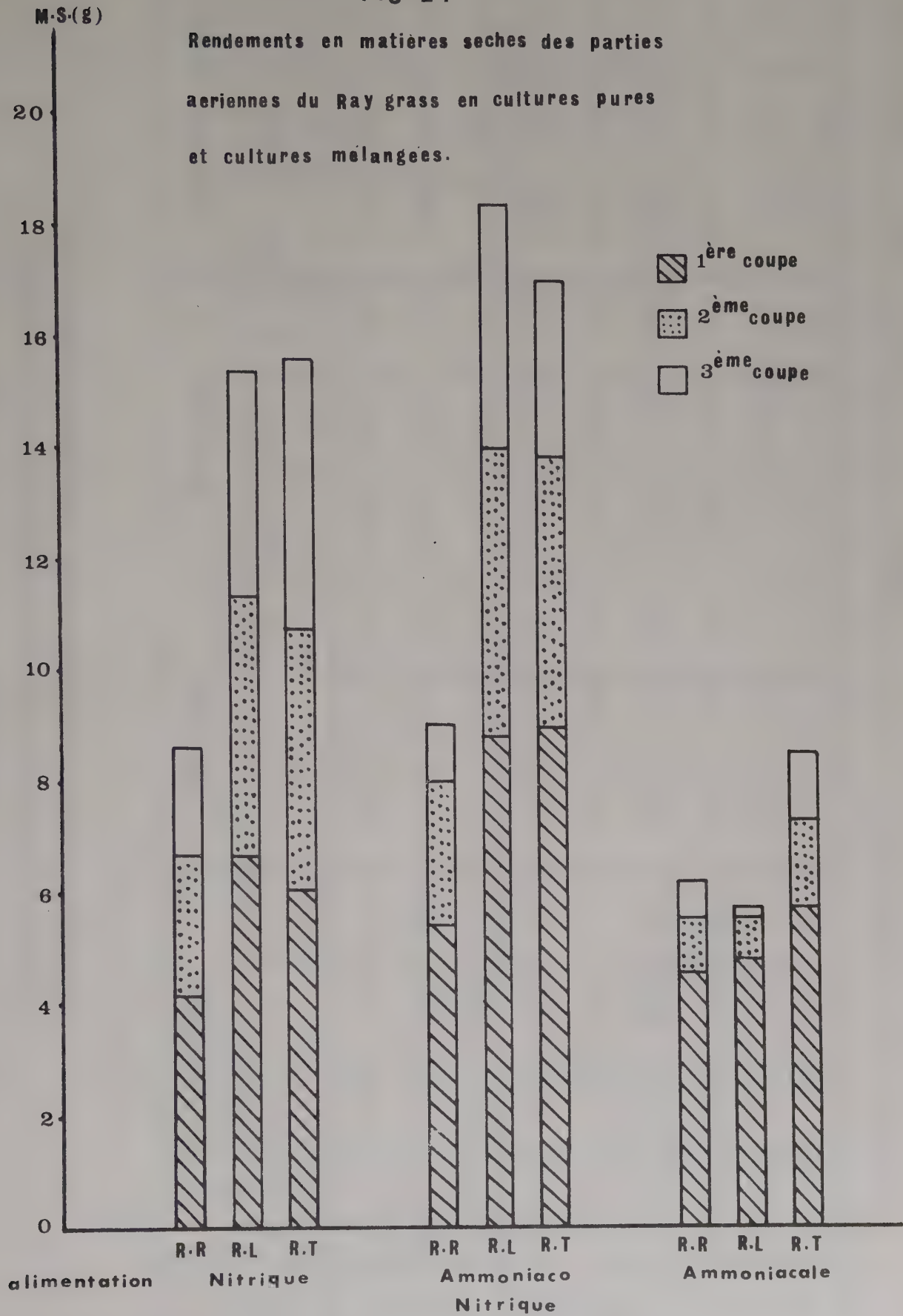


Tableau 43

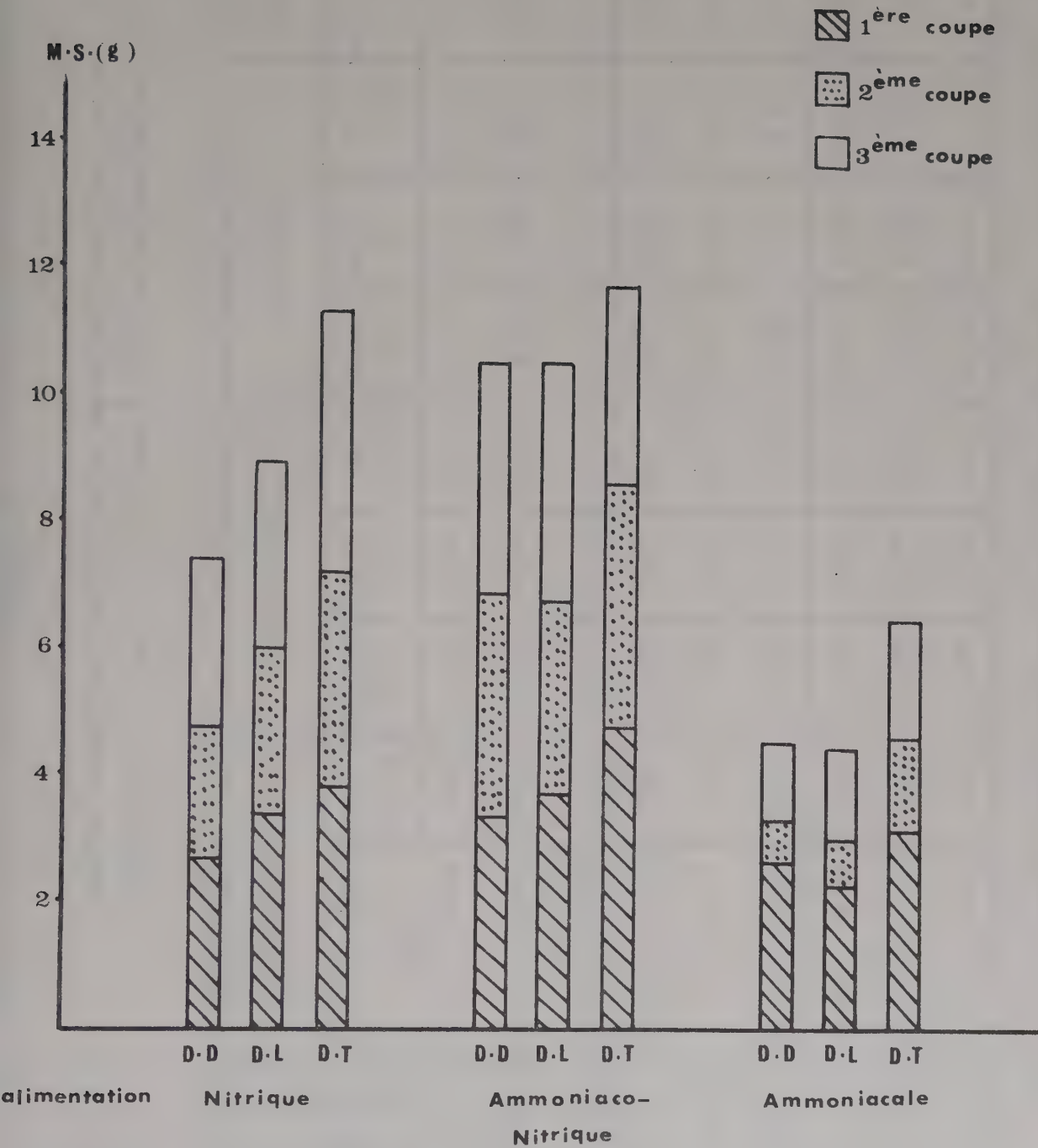
matière sèche, matière fraîche et rapport m.s./m.f. des parties aériennes du Dactyle, en culture pure et en culture mélangée (1).

Milieu	Mode d'association	1ère coupe			2ème coupe			3ème coupe			Total de 3 coupes		
		m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.
Nitrique	D.D.	2,50	22,80	11,0	2,07	17,30	12,0	2,65	20,80	12,7	7,22	60,90	11,9
	D.L.	3,25	25,40	12,8	2,53	20,85	12,3	2,90	22,70	12,8	8,68	68,95	12,6
	D.T.	3,60	29,10	12,4	3,48	28,00	12,4	4,05	30,40	13,3	11,13	87,50	12,7
Ammoniacal-nitrique	D.D.	3,15	24,90	12,6	3,56	25,50	13,9	3,63	24,85	14,6	10,34	75,25	13,7
	D.L.	3,50	26,30	13,3	3,00	22,80	13,4	3,75	25,40	14,8	10,25	74,50	13,6
	D.T.	4,55	36,80	12,4	3,90	30,50	12,8	3,23	21,70	14,8	11,68	89,00	13,1
Ammoniacal	D.D.	2,50	14,80	16,9	0,56	4,00	14,0	1,30	7,05	17,0	4,36	25,85	16,7
	D.L.	2,08	11,00	15,0	0,75	6,05	12,4	1,45	10,35	14,0	4,28	27,40	15,6
	D.T.	3,00	18,70	16,0	1,45	10,20	14,2	1,85	11,50	16,1	6,30	40,40	15,6

(1) Total de quatre répétitions pour les cultures mélangées ou deux répétitions pour les cultures pures.

Fig 25

Rendements en matieres seches des parties
aériennes du Dactyle en cultures pures et
cultures mélangées.



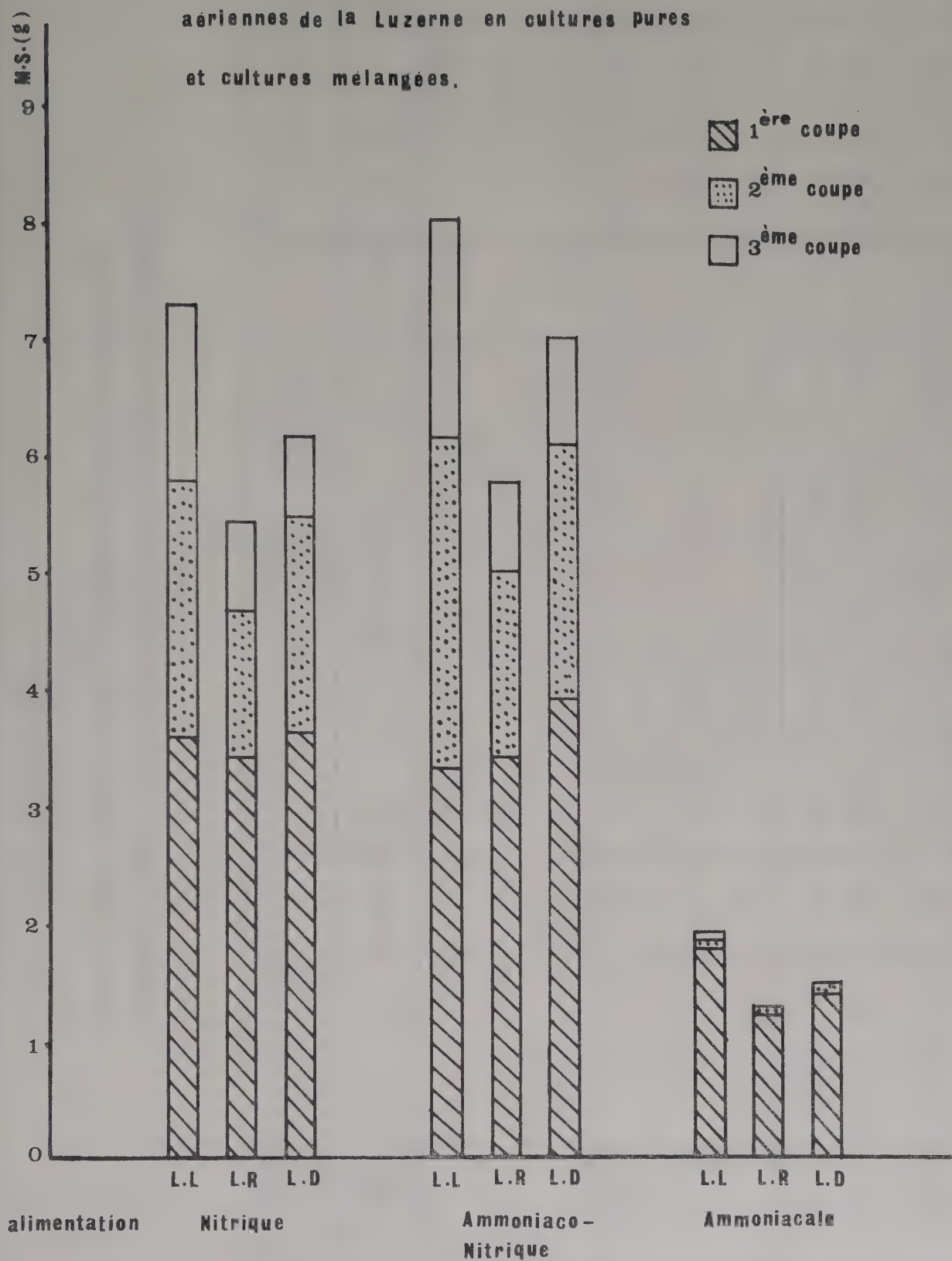
matière sèche, matière fraîche et rapport m.s./m.f. des parties aériennes de la Luzerne, en culture pure et en culture mélangée (1).

Milieu	Mode d'association	1ère coupe			2ème coupe			3ème coupe			Total de 3 coupes		
		m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.	m.s. g	m.f. g	% m.s./m.f.
Nitrique	L.L.	3,55	18,40	19,3	2,20	18,40	12,0	1,48	10,75	13,8	7,23	47,55	15,2
	L.R.	3,40	16,60	20,5	1,27	9,30	13,7	0,68	3,90	17,4	5,35	29,80	17,9
	L.D.	3,60	21,60	16,7	1,83	13,50	13,6	0,67	4,95	13,5	6,10	40,05	15,2
Ammoniac-nitrique	L.L.	3,30	17,40	19,0	2,83	20,40	13,9	1,88	12,15	15,5	8,01	49,95	16,0
	L.R.	3,40	17,90	19,0	1,58	10,45	15,1	0,77	4,55	16,9	5,75	32,90	17,5
	L.D.	3,92	21,20	18,5	2,20	16,55	13,3	0,90	5,35	16,8	7,02	43,10	16,3
Ammoniacal	L.L.	1,80	6,80	26,5	0,03	0,20	15,0	0,02	0,10	20,0	1,85	7,10	26,0
	L.R.	1,22	5,60	21,8	0,08	0,50	16,0	0,02	0,10	20,0	1,32	6,20	21,3
	L.D.	1,39	6,30	22,1	0,08	0,60	13,4	0,00	0,00	-	1,47	6,90	21,3

(1) Total de quatre répétitions pour les cultures mélangées ou deux répétitions pour les cultures pures.

Fig 26

Rendements en matières sèches des parties
aériennes de la Luzerne en cultures pures
et cultures mélangées.



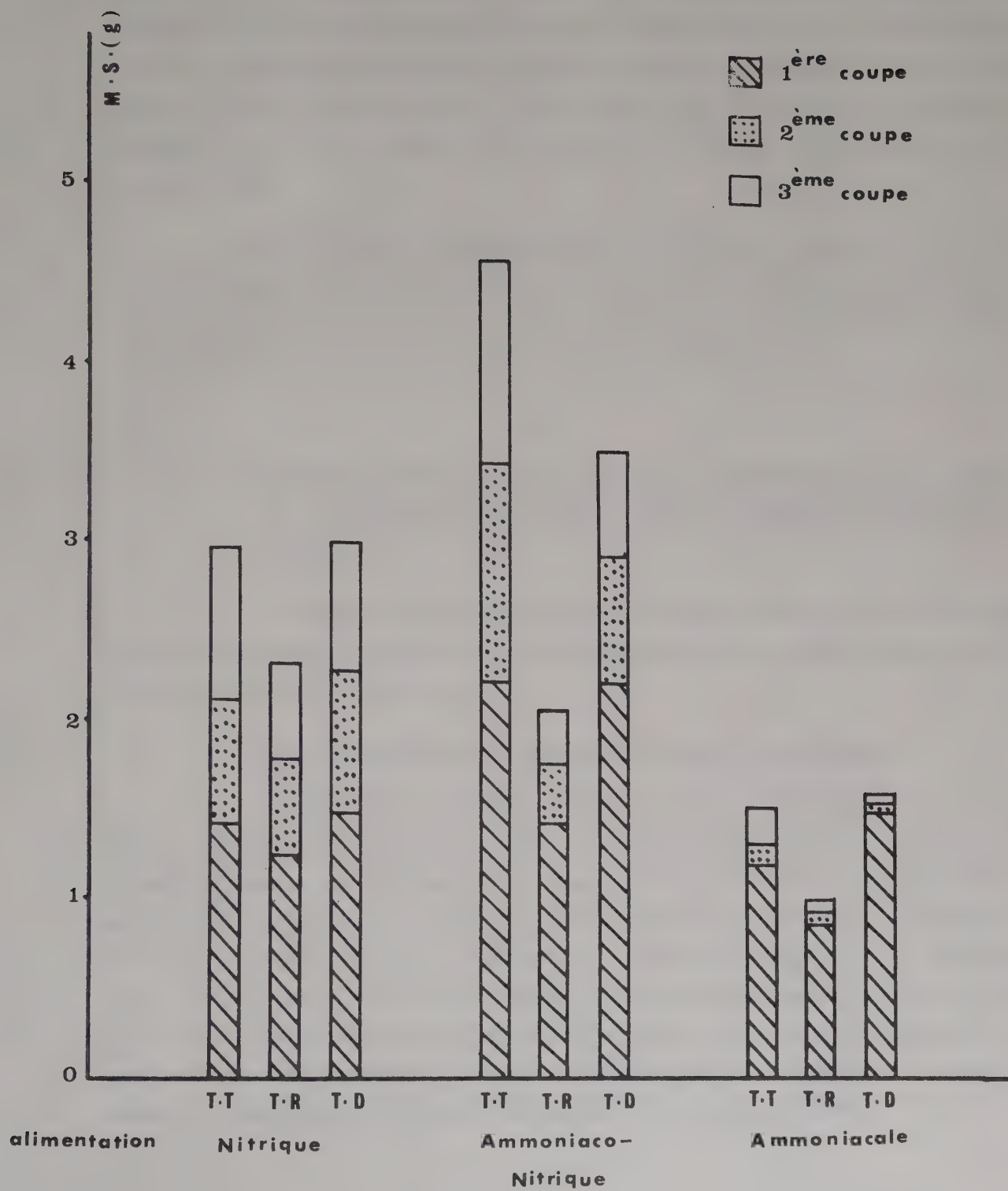
matière sèche, matière fraîche et rapport m.s./m.f. des parties aériennes du Trèfle blanc, en culture pure et en culture mélangée (1).

Milieu	Mode d'association	1ère coupe				2ème coupe				3ème coupe				Total de 3 coupes			
		m.s. g	m.f. g	m.s./m.f. %	m.s. g	m.f. g	m.s./m.f. %	m.s. g	m.f. g	m.s. g	m.f. g	m.s./m.f. %	m.s. g	m.f. g	m.s./m.f. %	m.s. g	m.f. g
Nitrique	T.T.	1,37	15,60	8,8	0,70	8,65	8,1	0,85	8,55	9,9	32,80	8,9	2,92	32,80	8,9	2,92	32,80
	T.R.	1,20	13,90	8,6	0,54	6,30	8,6	0,51	4,65	11,0	24,85	9,1	2,25	24,85	9,1	2,25	24,85
	T.D.	1,43	16,40	8,7	0,82	8,60	9,5	0,71	6,80	10,4	31,80	9,3	2,96	31,80	9,3	2,96	31,80
Ammoniacal-nitrique	T.T.	2,15	25,00	8,6	1,27	15,45	8,2	1,13	10,40	11,0	50,85	8,9	4,55	50,85	8,9	4,55	50,85
	T.R.	1,35	16,00	8,6	0,34	3,80	9,0	0,29	2,70	10,7	22,50	8,8	1,98	22,50	8,8	1,98	22,50
	T.D.	2,15	25,30	8,5	0,70	7,30	9,6	0,59	4,65	12,7	37,25	9,2	3,44	37,25	9,2	3,44	37,25
Ammoniacal	T.T.	1,10	11,80	9,3	0,15	1,60	9,4	0,18	1,60	11,2	15,00	9,5	1,43	15,00	9,5	1,43	15,00
	T.R.	0,80	8,30	9,4	0,06	0,65	9,2	0,05	0,50	10,0	9,45	9,6	0,91	9,45	9,6	0,91	9,45
	T.D.	1,43	15,50	9,2	0,05	0,40	12,5	0,04	0,30	13,3	16,20	9,4	1,52	16,20	9,4	1,52	16,20

(1) Total de quatre répétitions pour les cultures mélangées ou deux répétitions pour les cultures pures.

Fig 27

Rendements en matières sèches du
Trefle blanc en cultures pures et
cultures mélangées.



A la première coupe, il y a diminution de la production du Trèfle blanc cultivé sur milieu ammoniacal, puis aux deux coupes suivantes, comme dans le cas de la Luzerne. Le Trèfle blanc ne supporte pas non plus le milieu exclusivement ammoniacal ; les plantes commencent à jaunir et à se dessécher, et leur rendement sur ce milieu est pratiquement nul (tableau 45 et figure 27). Sur deux autres milieux, l'association avec le Ray grass se traduit toujours par une diminution du rendement en matière sèche du Trèfle blanc. L'effet défavorable de l'association avec le Dactyle se manifeste uniquement sur milieu ammoniaco-nitrique où le Trèfle blanc donne son rendement maximum.

Pour la teneur en matière sèche, d'une façon générale, les cultures sur milieu ammoniacal contiennent une teneur très légèrement supérieure à celle sur deux autres milieux ; mais l'écart ici est beaucoup plus faible que ceux obtenus pour le Ray grass, le Dactyle ou la Luzerne.

2.2.3. Comparaison de la production, de l'ensemble des trois coupes des parties aériennes, entre cultures pures et cultures mélangées.

On compare la somme "poids de matière sèche des parties aériennes de la graminée plus celui de la légumineuse" en cultures pures et en cultures mélangées (tableau 46).

Les données de cette comparaison sont les suivantes :

Chacune des deux légumineuses donne la production, en matière sèche, la plus forte en culture pure ; pour les deux espèces de graminées, c'est l'inverse. La diminution de production de chacune des légumineuses en culture mélangée est cependant, dans la majorité des cas, inférieure à l'excédent produit par les graminées en culture mélangée, ce qui entraîne alors une augmentation de production des cultures mélangées ; parmi celles-ci, c'est l'association Ray grass-Trèfle blanc qui fournit le plus fort pourcentage d'augmentation, et l'association Ray grass-Luzerne sur milieu ammoniaco-nitrique qui fournit la production la plus faible.

Tableau 46

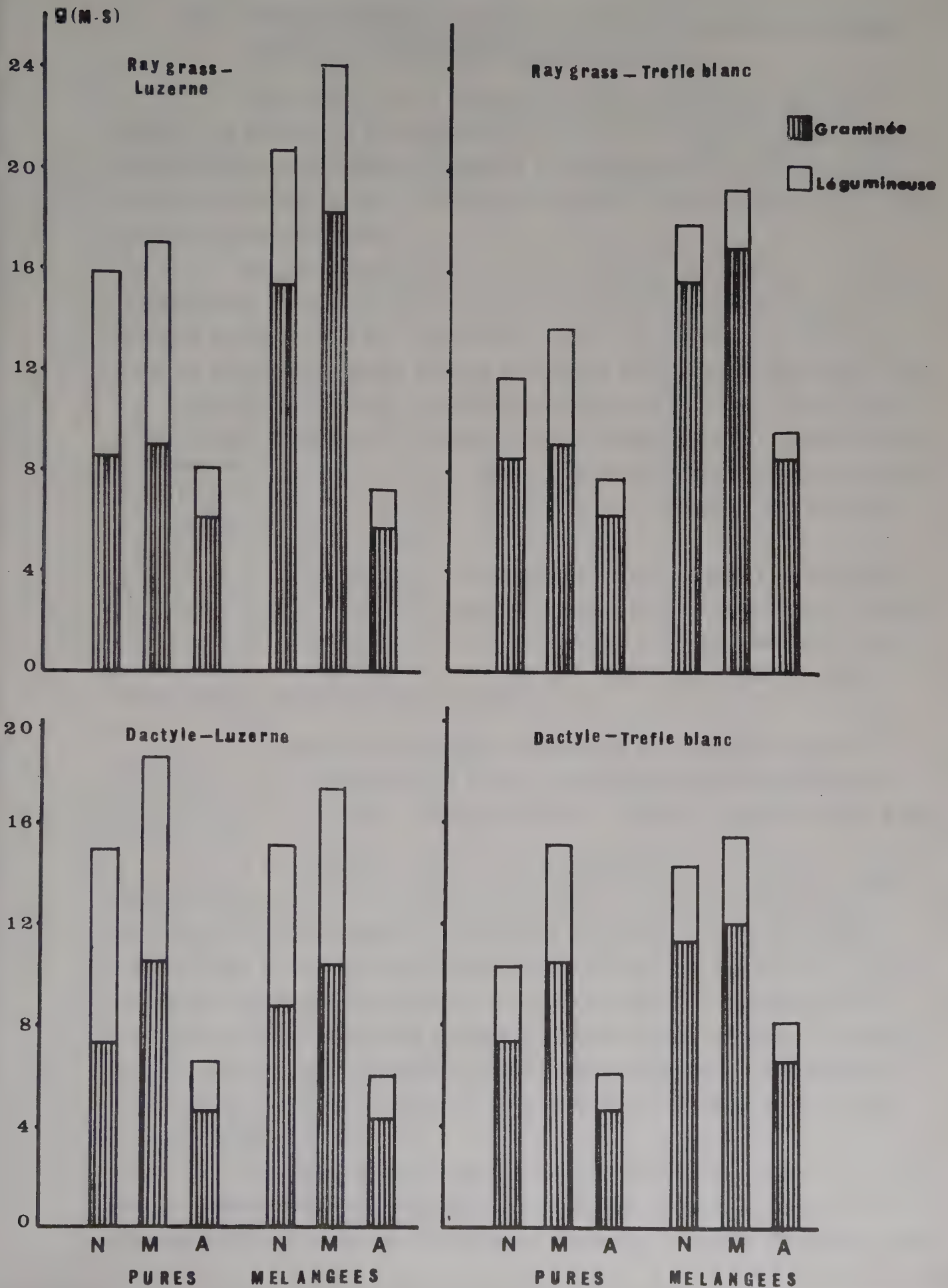
Production de matière sèche des parties aériennes
des plantes, en culture pure et en culture mélangée. (1)

Mode d'association	Milieu	Culture pure			Culture mélangée			Diff. en % entre culture mélangée et culture pure
		gram.	légum.	Total	gram.	légum.	Total	
Ray grass - Luzerne	N	8,38	7,23	15,61	15,12	5,35	20,47	+ 31
	M	8,82	8,01	16,83	18,09	5,75	23,84	+ 41
	A	6,04	1,85	7,89	5,54	1,32	6,86	- 13
Ray grass - Trèfle blanc	N	8,38	2,92	11,30	15,41	2,25	17,66	+ 56
	M	8,82	4,55	13,37	16,77	1,98	18,75	+ 40
	A	6,04	1,43	7,47	8,32	0,91	9,23	+ 23
Dactyle - Luzerne	N	7,22	7,23	14,45	8,68	6,10	14,78	+ 2
	M	10,34	8,01	18,30	10,25	7,02	17,27	- 5
	A	4,36	1,85	6,21	4,28	1,47	5,75	- 7
Dactyle - Trèfle blanc	N	7,22	2,92	10,14	11,13	2,96	14,09	+ 37
	M	10,34	4,55	14,89	11,68	3,44	15,12	+ 1
	A	4,36	1,43	5,79	6,30	1,52	7,82	+ 35

(1) Les valeurs indiquées correspondent à la somme de 3 coupes.

Fig 28

Comparaison des rendements totaux entre
cultures pures et cultures melangees



2.2.4. Influence du mode d'association sur la production de matières azotées des parties aériennes des plantes

Les tableaux 47 et 48 comparent, pour l'ensemble des trois coupes, les teneurs et les quantités d'azote total et de protéines contenues dans les parties aériennes de graminée et de légumineuse, en cultures pures et en cultures mélangées. Le tableau 49 concerne l'azote minéral, et ne porte que sur la première coupe.

Malgré certaines variations de teneur en azote total et en protéines, entre cultures pures et cultures mélangées, on ne peut définir un effet de l'association sur chacune des espèces. Par contre, les cultures pures ou mélangées recevant l'azote sous forme exclusivement ammoniacal, ont les teneurs en azote total et en protéines les plus faibles. D'autre part, les résultats obtenus pour la teneur en azote minéral dans la plante confirment ceux de la première partie : diminution proportionnelle de la teneur en azote minéral dans la plante avec diminution de la concentration des ions NO_3^- du milieu nutritif.

En ce qui concerne les quantités d'azote total et de protéines contenues dans les parties aériennes de l'ensemble des trois coupes, cultures pures ou cultures mélangées, elles suivent à peu près les mêmes variations que celles de la production de leurs parties aériennes en matière sèche ; la comparaison montre les points suivants :

- L'association graminée-légumineuse donne des quantités en azote total et en protéines plus élevées que celles obtenues en cultures pures. Ce fait est surtout remarquable dans le cas de l'association Ray grass-Trèfle blanc.

- En général, chacune des deux légumineuses, en cultures pures, contient les quantités les plus fortes, alors qu'on obtient les résultats inverses pour les deux espèces de graminées. L'augmentation des quantités d'azote total et de protéines produites par chacune des graminées en cultures mélangées, non seulement compense la diminution des quantités d'azote et de protéines observées chez deux espèces des légumineuses, mais dans la majorité des cas, elle produit un excédent, ce qui amène finalement à des quantités d'azote total et de protéines plus élevées pour les cultures mélangées que pour les cultures pures.

- La comparaison montre que la quantité d'azote minéral dans les parties aériennes est généralement plus élevée en cultures mélangées qu'en cultures pures. Chez les deux espèces de graminées, et d'une façon moins nette

Tableau 47

Teneur et quantité d'azote total dans les parties aériennes
des plantes, en culture pure et en culture mélangée (1).

Mode d'association	Milieu	Culture pure			Culture mélangée			Diff. entre culture mélangée et culture pure en %
		gram.	légum.	total	gram.	légum.	total	
Ray grass - Luzerne	N	<i>4,86</i> 407	<i>3,70</i> 268	<i>4,32</i> 675	<i>4,62</i> 699	<i>3,51</i> 188	<i>4,33</i> 887	+ 31
	M	<i>4,98</i> 440	<i>3,53</i> 283	<i>4,29</i> 723	<i>4,52</i> 819	<i>3,26</i> 188	<i>4,22</i> 1007	+ 39
	A	<i>4,03</i> 244	<i>2,10</i> 39	<i>3,58</i> 283	<i>3,89</i> 216	<i>2,30</i> 30	<i>3,58</i> 246	- 13
Ray grass - Trèfle blanc	N	<i>4,86</i> 407	<i>4,62</i> 135	<i>4,79</i> 542	<i>4,85</i> 748	<i>4,75</i> 107	<i>4,84</i> 855	+ 58
	M	<i>4,98</i> 440	<i>4,74</i> 216	<i>4,90</i> 656	<i>4,63</i> 778	<i>4,94</i> 98	<i>4,68</i> 876	+ 34
	A	<i>4,03</i> 244	<i>3,30</i> 47	<i>3,89</i> 291	<i>4,00</i> 333	<i>3,50</i> 32	<i>3,95</i> 365	+ 25
Dactyle - Luzerne	N	<i>4,34</i> 314	<i>3,70</i> 268	<i>4,02</i> 582	<i>4,80</i> 417	<i>3,70</i> 226	<i>4,35</i> 643	+ 11
	M	<i>4,45</i> 461	<i>3,53</i> 283	<i>4,06</i> 744	<i>4,58</i> 470	<i>3,53</i> 248	<i>4,15</i> 718	- 3
	A	<i>3,62</i> 158	<i>2,10</i> 39	<i>3,17</i> 197	<i>3,83</i> 164	<i>2,70</i> 40	<i>3,54</i> 204	+ 3
Dactyle - Trèfle blanc	N	<i>4,34</i> 314	<i>4,62</i> 135	<i>4,42</i> 449	<i>4,72</i> 526	<i>4,12</i> 122	<i>4,59</i> 648	+ 44
	M	<i>4,45</i> 461	<i>4,74</i> 216	<i>4,54</i> 677	<i>4,97</i> 581	<i>5,11</i> 176	<i>5,00</i> 757	+ 12
	A	<i>3,62</i> 158	<i>3,30</i> 47	<i>3,54</i> 205	<i>3,92</i> 247	<i>4,10</i> 62	<i>3,95</i> 309	+ 51

(1) Les valeurs indiquées correspondent à la somme des 3 coupes.

Les pourcentages sont imprimés en caractère italique, et les quantités en caractère ordinaire.

Tableau 48

Production de protéines des parties aériennes des
plantes, en culture pure et en culture mélangée (1).

Mode d'association	Milieu	Culture pure			Culture mélangée			Diff. entre culture mélangée et cultu- re pure en %
		gram.	légum.	total	gram.	légum.	total	
Ray grass - Luzerne	N	<i>30,37</i> 2541	<i>23,12</i> 1675	<i>27,00</i> 4216	<i>28,87</i> 4367	<i>21,94</i> 1174	<i>27,06</i> 5541	+ 31
	M	<i>31,12</i> 2750	<i>22,06</i> 1171	<i>26,81</i> 4521	<i>28,25</i> 5116	<i>20,37</i> 1175	<i>26,37</i> 6291	+ 39
	A	<i>25,19</i> 1526	<i>13,12</i> 244	<i>22,37</i> 1770	<i>24,31</i> 1353	<i>14,37</i> 187	<i>22,37</i> 1540	+ 13
Ray grass - Trèfle blanc	N	<i>30,37</i> 2541	<i>28,87</i> 842	<i>29,94</i> 3383	<i>30,31</i> 4676	<i>29,69</i> 668	<i>30,25</i> 5344	+ 58
	M	<i>31,12</i> 2750	<i>29,62</i> 1348	<i>30,62</i> 4098	<i>28,94</i> 4864	<i>30,87</i> 609	<i>29,25</i> 5473	+ 34
	A	<i>25,19</i> 1526	<i>20,62</i> 294	<i>24,31</i> 1820	<i>25,00</i> 2081	<i>21,87</i> 200	<i>24,69</i> 2281	+ 25
Dactyle - Luzerne	N	<i>27,12</i> 1960	<i>23,12</i> 1675	<i>25,12</i> 3635	<i>30,00</i> 2606	<i>23,12</i> 1413	<i>27,19</i> 4019	+ 11
	M	<i>27,81</i> 2883	<i>22,06</i> 1771	<i>25,37</i> 4654	<i>28,62</i> 2936	<i>22,06</i> 1549	<i>25,94</i> 4485	- 3
	A	<i>22,62</i> 987	<i>13,12</i> 244	<i>19,81</i> 1231	<i>23,94</i> 1022	<i>16,87</i> 259	<i>22,12</i> 1272	+ 3
Dactyle - Trèfle blanc	N	<i>27,12</i> 1960	<i>28,87</i> 842	<i>27,62</i> 2802	<i>29,50</i> 3287	<i>25,75</i> 762	<i>28,69</i> 4049	+ 44
	M	<i>27,81</i> 2883	<i>29,62</i> 1348	<i>28,37</i> 4231	<i>31,06</i> 3634	<i>31,94</i> 1099	<i>31,25</i> 4733	+ 12
	A	<i>22,62</i> 987	<i>20,62</i> 294	<i>22,12</i> 1281	<i>24,50</i> 1546	<i>25,62</i> 387	<i>24,69</i> 1933	+ 51

(1) Les valeurs indiquées correspondent à la somme des 3 coupes.

Les pourcentages sont imprimés en caractère italique, et
les quantités en caractère ordinaire.

Tableau 49

Teneur et quantité d'azote minéral dans les parties aériennes des plantes, en culture pure et en culture mélangée (1).

Mode d'association	Milieu	Culture pure			Culture mélangée			Diff. entre culture mélangée et culture pure en %
		gram.	légum.	total	gram.	légum.	total	
Ray grass - Luzerne	N	<i>0,929</i> 37,16	<i>0,250</i> 8,87	<i>0,610</i> 46,03	<i>0,882</i> 57,33	<i>0,319</i> 10,85	<i>0,689</i> 68,18	+ 48
	M	<i>0,638</i> 33,50	<i>0,150</i> 4,95	<i>0,450</i> 38,45	<i>0,688</i> 58,82	<i>0,160</i> 5,44	<i>0,538</i> 64,24	+ 67
	A	<i>0,074</i> 2,82	<i>0,040</i> 0,72	<i>0,057</i> 3,54	<i>0,079</i> 3,67	<i>0,040</i> 0,49	<i>0,071</i> 4,16	+ 18
Ray grass - Trèfle blanc	N	<i>0,929</i> 37,16	<i>0,706</i> 9,67	<i>0,872</i> 46,83	<i>0,727</i> 42,53	<i>0,724</i> 8,69	<i>0,726</i> 51,22	+ 9
	M	<i>0,638</i> 33,50	<i>0,445</i> 9,57	<i>0,582</i> 43,07	<i>0,686</i> 60,02	<i>0,495</i> 6,68	<i>0,560</i> 66,70	+ 55
	A	<i>0,074</i> 2,82	<i>0,048</i> 0,53	<i>0,061</i> 3,35	<i>0,102</i> 5,66	<i>0,062</i> 0,50	<i>0,097</i> 6,16	+ 84
Dactyle - Luzerne	N	<i>0,968</i> 24,20	<i>0,250</i> 8,87	<i>0,547</i> 33,07	<i>0,655</i> 21,29	<i>0,452</i> 16,27	<i>0,548</i> 37,56	+ 14
	M	<i>0,850</i> 26,77	<i>0,150</i> 4,95	<i>0,492</i> 31,72	<i>0,682</i> 23,87	<i>0,172</i> 6,74	<i>0,412</i> 30,61	- 3
	A	<i>0,056</i> 1,40	<i>0,040</i> 0,72	<i>0,049</i> 2,12	<i>0,065</i> 1,35	<i>0,048</i> 0,67	<i>0,056</i> 2,03	- 4
Dactyle - Trèfle blanc	N	<i>0,968</i> 24,20	<i>0,706</i> 9,67	<i>0,875</i> 33,87	<i>0,932</i> 33,55	<i>0,735</i> 10,51	<i>0,876</i> 44,06	+ 30
	M	<i>0,850</i> 26,77	<i>0,445</i> 9,57	<i>0,686</i> 36,34	<i>0,755</i> 34,35	<i>0,453</i> 9,74	<i>0,658</i> 44,09	+ 21
	A	<i>0,056</i> 1,40	<i>0,048</i> 0,53	<i>0,054</i> 1,93	<i>0,057</i> 1,71	<i>0,050</i> 0,72	<i>0,055</i> 2,43	+ 26

(1) Les valeurs indiquées correspondent à la 1ère coupe.

Les pourcentages sont imprimés en caractère italique et les quantités en caractère ordinaire.

chez la Luzerne, on constate une augmentation de la quantité d'azote minéral en culture mélangée.

2.2.5. Influence du mode d'association sur la production de phosphore des parties aériennes des plantes, en fonction de la composition azotée du milieu nutritif

Le tableau 50 donne, pour l'ensemble des trois coupes des parties aériennes, la teneur et la quantité du phosphore ; il permet les comparaisons qui suivent :

- La teneur en phosphore des parties aériennes du Ray grass est plus élevée en culture pure qu'en association avec une des deux espèces de légumineuse, quelle que soit la forme d'azote du milieu nutritif.

- Le mode d'association a peu d'actions sur la teneur en phosphore des parties aériennes du Dactyle et de la Luzerne.

- L'association avec le Ray grass augmente la teneur en phosphore dans les parties aériennes du Trèfle blanc, mais l'association avec le Dactyle influence peu cette teneur.

- La teneur en phosphore de chacune des espèces, culture pure ou culture mélangée, augmente régulièrement avec l'augmentation des concentrations d'ions ammonium dans le milieu nutritif. Ainsi, les cultures sur milieu exclusivement ammoniacal ont les teneurs en phosphore les plus élevées.

- Sur un milieu nutritif déterminé, le Ray grass et le Trèfle blanc sont plus riches en phosphore que le Dactyle et la Luzerne.

En ce qui concerne la comparaison entre l'ensemble des cultures pures et celui des cultures mélangées, il n'y a pas de différence sensible de la teneur en phosphore entre cultures pures et cultures mélangées ; mais cette teneur est plus faible sur milieu nitrique que sur d'autres milieux.

Enfin, les variations des quantités totales de phosphore, obtenues dans l'ensemble des trois coupes des parties aériennes, évoluent dans le même sens que la production en matière sèche des parties aériennes : les cultures mélangées contiennent en général les quantités de phosphore les plus élevées.

Tableau 50

Influence du mode d'association sur la production
de phosphore des parties aériennes (1).

Mode d'association	Milieu	Culture pure			Culture mélangée			Diff. entre culture mélangée et culture pure en %
		gram.	légum.	total	gram.	légum.	total	
Ray grass - Luzerne	N	<i>0,61</i> 51,23	<i>0,38</i> 27,68	<i>0,50</i> 78,91	<i>0,54</i> 82,00	<i>0,36</i> 19,33	<i>0,49</i> 101,33	+ 28,4
	M	<i>0,70</i> 61,84	<i>0,46</i> 36,80	<i>0,57</i> 98,64	<i>0,59</i> 106,67	<i>0,57</i> 25,82	<i>0,56</i> 132,49	+ 34,3
	A	<i>0,73</i> 43,92	<i>0,48</i> 8,87	<i>0,67</i> 52,79	<i>0,69</i> 38,38	<i>0,57</i> 7,37	<i>0,67</i> 45,75	- 13,3
Ray grass - Trèfle blanc	N	<i>0,61</i> 51,23	<i>0,59</i> 17,24	<i>0,60</i> 68,47	<i>0,55</i> 85,04	<i>0,62</i> 14,01	<i>0,56</i> 99,05	+ 44,7
	M	<i>0,70</i> 61,84	<i>0,63</i> 28,77	<i>0,67</i> 90,61	<i>0,61</i> 102,58	<i>0,68</i> 13,46	<i>0,62</i> 116,04	+ 28,1
	A	<i>0,73</i> 43,92	<i>0,72</i> 10,58	<i>0,72</i> 54,50	<i>0,65</i> 54,16	<i>0,74</i> 6,73	<i>0,66</i> 60,89	+ 11,7
Dactyle - Luzerne	N	<i>0,51</i> 37,03	<i>0,38</i> 27,68	<i>0,45</i> 64,71	<i>0,52</i> 45,35	<i>0,38</i> 23,34	<i>0,46</i> 68,69	+ 6,2
	M	<i>0,54</i> 56,15	<i>0,46</i> 36,80	<i>0,51</i> 92,95	<i>0,56</i> 57,95	<i>0,48</i> 33,95	<i>0,53</i> 91,90	- 1,1
	A	<i>0,55</i> 23,90	<i>0,48</i> 8,87	<i>0,53</i> 32,77	<i>0,56</i> 24,22	<i>0,54</i> 7,93	<i>0,56</i> 32,15	- 1,9
Dactyle - Trèfle blanc	N	<i>0,51</i> 37,03	<i>0,59</i> 17,24	<i>0,53</i> 54,27	<i>0,51</i> 57,01	<i>0,55</i> 16,44	<i>0,52</i> 73,45	+ 35,3
	M	<i>0,54</i> 56,15	<i>0,63</i> 28,77	<i>0,57</i> 84,92	<i>0,56</i> 65,93	<i>0,62</i> 21,20	<i>0,58</i> 87,13	+ 2,6
	A	<i>0,55</i> 23,90	<i>0,72</i> 10,58	<i>0,59</i> 34,48	<i>0,56</i> 35,23	<i>0,72</i> 10,93	<i>0,59</i> 46,16	+ 33,9

(1) Les valeurs indiquées correspondent à la somme des 3 coupes.

Les pourcentages sont imprimés en caractère italique, et
les quantités en caractère ordinaire.

2.2.6. Influence du mode d'association sur la production de potassium des parties aériennes des plantes, en fonction de la composition azotée du milieu nutritif

Les résultats groupés dans le tableau 51 montrent la teneur et la quantité de potassium, contenue dans l'ensemble des trois coupes des parties aériennes des plantes, en cultures pures et en cultures mélangées.

La teneur en potassium, dans les parties aériennes de chacune des espèces, varie peu en fonction du mode de culture ; cependant, sur tous les milieux nutritifs, on constate que le Dactyle associé avec la Luzerne ou avec le Trèfle blanc, et le Trèfle blanc associé avec le Ray grass ou avec le Dactyle, ont une teneur en potassium légèrement plus élevée qu'en cultures pures. On n'observe rien de tel avec le Ray grass et la Luzerne.

D'autre part, chez la Luzerne et le Dactyle, et d'une façon moins nette chez le Trèfle blanc, la teneur en potassium est la plus faible sur milieu ammoniacal.

La comparaison de teneur en potassium, contenue dans l'ensemble des trois coupes des parties aériennes, entre les cultures mélangées et les cultures pures, montre une légère augmentation au profit des cultures mélangées.

Enfin, les variations des quantités totales de potassium, comme celles des autres éléments contenus dans les parties aériennes, évoluent dans le même sens que celles de leur production en matière sèche.

Tableau 51

Influence du mode d'association sur la production
de potassium des parties aériennes (1).

Mode d'association	Milieu	Culture pure			Culture mélangée			Diff. entre culture mélangée et culture pure en %
		gram.	légum.	total	gram.	légum.	total	
Ray grass - Luzerne	N	6,8 574,6	4,2 301,5	5,6 876,1	6,9 1038,9	4,0 211,4	6,1 1250,3	+ 42,7
	M	7,3 646,5	4,0 324,6	5,7 971,1	6,9 1255,1	3,9 223,2	6,2 1478,3	+ 52,2
	A	7,1 432,2	2,80 51,8	6,1 484,0	7,3 407,6	3,50 46,2	6,6 454,8	- 6,0
Ray grass - Trèfle blanc	N	6,8 574,6	5,1 148,1	6,4 722,7	6,8 1055,4	5,6 125,5	6,7 1180,9	+ 63,4
	M	7,3 646,5	4,7 215,2	6,4 861,7	7,3 1231,9	5,7 113,4	7,1 1345,3	+ 56,1
	A	7,1 432,2	5,0 71,5	6,7 503,7	7,1 588,2	5,3 48,2	6,9 636,4	+ 26,3
Dactyle - Luzerne	N	5,9 424,0	4,2 301,5	5,0 725,5	6,0 523,2	4,2 253,6	5,2 776,8	+ 7,0
	M	5,6 575,6	4,0 324,6	4,9 900,2	5,9 608,9	4,0 278,3	5,1 887,2	- 1,4
	A	4,4 193,4	2,8 51,8	3,9 245,2	5,2 221,6	3,4 50,0	4,7 271,6	+ 10,7
Dactyle - Trèfle blanc	N	5,9 424,0	5,1 148,1	5,6 572,1	6,0 674,3	5,4 159,0	5,9 833,3	+ 45,6
	M	5,6 575,6	4,7 215,2	5,3 790,8	6,3 733,6	5,2 179,4	6,0 913,0	+ 15,4
	A	4,4 193,4	5,0 71,5	4,6 264,9	5,3 336,1	5,2 79,0	5,3 415,1	+ 56,7

(1) Les valeurs indiquées correspondent à la somme des 3 coupes.

Les pourcentages sont imprimés en caractère italique et
les quantités en caractère ordinaire.

2.2.7. Longueur, poids de matière sèche et teneur en azote des racines

En fin de culture, les racines des plantes sont séparées de leurs parties aériennes, elles sont nettoyées, lavées et séchées dans les mêmes conditions que les parties aériennes.

La longueur des racines correspond à la mesure de la racine la plus longue de chaque plante.

2.2.7.1. Ray grass d'Italie

Si le mode d'association n'a pas d'effet notable sur la longueur des racines du Ray grass, il influe par contre sur la production en matière sèche des racines : celle-ci est toujours plus élevée pour le Ray grass en association avec Luzerne ou Trèfle blanc, que pour le Ray grass en culture pure. Cette augmentation est très nette sur les milieux nitriques et ammoniacal-nitriques (tableau 52).

Toutefois, les plantes recevant l'azote sous forme exclusivement ammoniacal ont une production des racines plus faible que celle des plantes cultivées sur des autres milieux.

Le dosage d'azote total dans les racines du Ray grass montre que l'association légumineuse-Ray grass augmente légèrement la teneur en azote total dans les racines du Ray grass.

En ce qui concerne le rapport matière sèche des parties aériennes/matière sèche des racines, l'influence du mode d'association n'apparaît pas nettement ; par contre, ce rapport est plus faible sur le milieu nitrique que sur les deux autres milieux.

2.2.7.2. Dactyle

La présence de la Luzerne en association avec le Dactyle a peu d'action sur la longueur et la production des racines du Dactyle. Par contre, l'association avec le Trèfle blanc favorise la croissance en hauteur et augmente le poids de matière sèche des racines du Dactyle (tableau 53).

D'autre part, la présence d'une légumineuse en association

avec le Dactyle augmente sensiblement la teneur en azote total dans les racines du Dactyle, ceci quelle que soit la forme d'azote dans le milieu nutritif.

Le rapport matière sèche des parties aériennes/matière sèche des racines est plus faible sur le milieu nitrique que sur les deux autres milieux et le mode d'association n'influence pas ce rapport.

2.2.7.3. Luzerne

L'association d'une graminée avec la Luzerne diminue considérablement la production des racines chez la Luzerne cultivée sur les milieux nitrique et ammoniac-nitrique ; c'est-à-dire à l'inverse de ce qui a été observé pour les deux espèces de graminées, mais toujours sans changement sensible de la longueur des racines (tableau 54) ; ce qui peut s'expliquer par une diminution de la section, ou du nombre de racines latérales de Luzerne en association avec une graminée. La faible production des racines, observée sur milieu exclusivement ammoniacal, n'est pas influencée par le mode d'association, elle traduit une fois de plus l'effet défavorable des ions NH_4^+ sur la Luzerne.

La teneur en azote total des racines de Luzerne en association avec l'une ou l'autre graminée est nettement plus faible qu'en culture pure.

Enfin, le rapport matière sèche des parties aériennes/matière sèche des racines est le plus faible dans le cas de la Luzerne en culture pure sur les milieux nitrique et ammoniac-nitrique ; c'est l'inverse sur le milieu ammoniacal.

2.2.7.4. Trèfle blanc

L'association avec une graminée, en particulier avec le Ray grass, diminue la longueur et le poids de matière sèche des racines du Trèfle blanc. La diminution du poids des racines est beaucoup plus remarquable que celle de leurs longueurs.

De plus, sur les trois milieux nutritifs, la teneur en azote total des racines du Trèfle blanc en culture pure est plus élevée qu'en culture mélangée avec le Dactyle ; la même observation peut-être faite pour l'association Trèfle blanc-Ray grass, mais uniquement sur le milieu nitrique.

Le mode d'association n'a pas d'action nette sur le rapport matière sèche des parties aériennes/matière sèche des racines du Trèfle blanc.

Tableau 52

Résultats des racines du Ray grass

milieu	Mode d'association	Longueur moyenne d'une racine mm	matière sèche des racines g	Rapport P.A. (1) racines	% de N total de la m.s.
Nitrique	R.R.	175	0,72	11,6	1,57
	R.L.	169	1,37	11,0	1,80
	R.T.	186	1,39	11,1	1,60
Ammoniaco-nitrique	R.R.	118	0,55	16,0	1,60
	R.L.	123	1,47	12,3	1,63
	R.T.	127	1,09	15,4	1,60
Ammoniacal	R.R.	99	0,38	15,9	1,50
	R.L.	88	0,42	13,2	1,65
	R.T.	106	0,52	16,0	1,57

Tableau 53

Résultats des racines du Dactyle

milieu	Mode d'association	Longueur moyenne d'une racine mm	matière sèche des racines g	Rapport P.A. (1) racines	% de N total de la m.s.
Nitrique	D.D.	150	1,02	7,1	1,33
	D.L.	148	1,06	8,2	1,70
	D.T.	166	1,25	8,9	1,68
Ammoniacal-nitrique	D.D.	112	1,03	10,0	1,33
	D.L.	116	1,00	10,3	1,60
	D.T.	138	1,08	10,8	1,60
Ammoniacal	D.D.	74	0,37	11,8	1,33
	D.L.	79	0,40	10,7	1,60
	D.T.	87	0,53	11,9	1,73

(1) Rapport du total des 3 coupes des parties aériennes/racines.

Tableau 54

Résultats des racines de la Luzerne

milieu	Mode d'asso- ciation	Longueur moyenne d'une racine mm	matière sèche des racines g	Rapport P.A. (1) racines	% de N total de la m.s.
Nitrique	L.L.	95	0,63	11,5	3,50
	L.R.	85	0,35	15,3	2,13
	L.D.	90	0,41	14,9	2,18
Ammoniac- nitrique	L.L.	105	0,63	12,7	3,50
	L.R.	105	0,40	14,4	2,20
	L.D.	105	0,41	17,1	2,60
Ammoniacal	L.L.	69	0,14	13,2	3,30
	L.R.	66	0,14	9,4	2,90
	L.D.	75	0,15	9,8	2,50

Tableau 55

Résultats des racines du Trèfle blanc

milieu	Mode d'asso- ciation	Longueur moyenne d'une racine mm	matière sèche des racines g	Rapport P.A. (1) racines	% de N total de la m.s.
Nitrique	T.T.	123	0,38	7,7	3,00
	T.R.	65	0,26	8,7	2,30
	T.D.	106	0,30	9,9	2,33
Ammoniac- Nitrique	T.T.	115	0,41	11,1	2,80
	T.R.	103	0,22	9,0	2,85
	T.D.	104	0,28	12,3	2,33
Ammoniacal	T.T.	77	0,18	7,9	2,40
	T.R.	70	0,12	7,6	2,50
	T.D.	75	0,20	7,6	2,15

(1) Rapport du total des 3 coupes des parties aériennes / racines.

2.3. D I S C U S S I O N

=====

ET

C O N C L U S I O N

=====

Les avantages de l'association légumineuse-graminée sont mis en évidence depuis longtemps, et le choix des espèces à associer est important. Certaines espèces ne supportent pas le voisinage d'autres espèces : le phénomène de la toxicité des racines de certaines plantes, les vitesses de croissance de développement des espèces en association, la concurrence pour l'air et la lumière au niveau des parties aériennes, pour les éléments minéraux au niveau des racines, peuvent intervenir sur le choix des espèces à associer.

Nous avons établi cette expérience pour étudier, au point de vue rendement et composition chimique, le comportement de chacune des espèces en culture pure et en culture mélangée sur trois milieux nutritifs de composition azotée différente.

2.3.1. Association Ray grass d'Italie - Luzerne

En comparant la production de matière sèche de chacune des espèces, obtenue en culture pure et en culture mélangée, nous constatons qu'en présence du Ray grass, la production de matière végétale de la Luzerne cultivée sur tous les milieux nutritifs se trouve diminuée ; cette diminution a été surtout observée aux deuxième et troisième coupe. Par contre, le Ray grass produit davantage en association qu'en culture pure ; cette augmentation compense non seulement la diminution observée chez la Luzerne, mais sur les milieux nitrique et ammoniacal-nitrique, elle produit un excédent, ce qui entraîne finalement une production totale plus élevée pour les mélanges Ray grass-Luzerne que pour la somme de leurs cultures pures (tableau 46). Par contre, sur milieu ammoniacal, la production des deux espèces en association diminue légèrement par rapport à leurs cultures pures ; donc, sur ce milieu, la production la plus faible a été obtenue pour les cultures mélangées.

Pour la hauteur des plantes, les conclusions sont identiques à celles obtenues pour la production en matière végétale des parties aériennes.

Le rapport matière sèche des parties aériennes/hauteur plus élevé pour la Luzerne en culture pure qu'en culture mélangée, permet d'avancer

une explication sur l'effet dépressif de l'association de cette légumineuse avec le Ray grass. Le Ray grass croît plus rapidement et diminue de ce fait l'éclairement de la Luzerne ; celle-ci présente alors un début d'étiollement mesuré par l'abaissement du rapport matière sèche des parties aériennes/hauteur. Pour le Ray grass, l'effet est inverse ; la croissance plus lente de la Luzerne donne aux plantules de Ray grass, cultivées en association, plus d'espace qu'en culture pure, ce qui élève la valeur de leurs rapports m.s. des parties aériennes/hauteur.

La compétition au niveau des racines des deux espèces joue dans le même sens qu'au niveau des parties aériennes : en culture mélangée, la production de racines est plus élevée qu'en culture pure pour le Ray grass, et plus faible pour la Luzerne.

En ce qui concerne la teneur des parties aériennes en azote total, donc en protéines, il n'y a pas de différence entre cultures pures et cultures mélangées (tableaux 47 et 48) ; mais cette teneur est la plus faible sur milieu ammoniacal, ce qui traduit la difficulté d'absorption et d'assimilation des ions ammonium des deux espèces.

La teneur en phosphore n'est pas non plus influencée par le mode de culture, pure ou mélangée ; mais sa diminution proportionnelle à l'augmentation de la concentration en ions nitrate dans le milieu nutritif, illustre la compétition d'absorption entre les ions nitrate et les ions phosphate.

Enfin, la teneur en potassium est légèrement plus élevée en cultures mélangées qu'en cultures pures.

Parmi les différents traitements appliqués à l'étude de l'association Ray grass-Luzerne, c'est la culture mélangée des deux espèces sur milieu ammoniacal-nitrique qui donne en proportion et en valeur absolue la production de matière sèche et de protéine la plus élevée (tableaux 46 et 48).

2.3.2. Association Ray grass d'Italie - Trèfle blanc

En présence du Ray grass, la production de matière végétale du Trèfle blanc, cultivé sur les trois milieux nutritifs, est plus faible qu'en culture pure. Pour le Ray grass, c'est l'inverse : en association avec le Trèfle blanc, cette graminée produit un excédent de matière végétale tel qu'il compense positivement l'effet dépressif de l'association sur le Trèfle blanc (tableau 46).

Le rapport matière sèche des parties aériennes/hauteur des plantes présente des fluctuations identiques à celles obtenues dans l'association Ray grass-Luzerne : le rapport plus élevé pour la graminée et plus faible pour la légumineuse en culture mélangée peut ici aussi s'expliquer par la concurrence pour l'espace et la lumière qui s'exerce aux dépens de l'associé le plus lent à croître, c'est-à-dire le Trèfle blanc.

Au niveau des racines, on retrouve la compétition observée pour les parties aériennes ; en culture mélangée, la production de racines est plus élevée (1,5 à 2 fois) pour le Ray grass et plus faible pour le Trèfle blanc (1,5 à 2 fois).

D'autre part, sur tous les milieux nutritifs, la teneur en azote, phosphore et potassium du Trèfle blanc est plus élevée en culture mélangée qu'en culture pure (tableaux 47, 50 et 51). Pour le Ray grass, les variations de teneur en azote et en potassium, entre culture pure et culture mélangée, ne sont pas sensibles, mais la teneur en phosphore est moins élevée lorsque le Ray grass est associé avec le Trèfle blanc (tableaux 47, 50 et 51).

Parmi les différents traitements appliqués à l'étude de l'association Ray grass-Trèfle blanc, c'est sur le milieu nitrique qu'est obtenu le pourcentage d'augmentation de rendement, en matière sèche, le plus élevé en faveur des cultures mélangées ; mais c'est le milieu ammoniac-nitrique qui porte la récolte la plus abondante en valeur absolue.

2.3.3. Association Dactyle - Luzerne

En présence de Dactyle, comme en présence de Ray grass, la production de matière végétale de la Luzerne est légèrement plus faible qu'en culture pure. Pour le Dactyle, les écarts de récolte de matière végétale sont faibles ou nuls entre culture pure et culture mélangée ; il en résulte que, contrairement aux associations précédentes, le mélange de ces deux espèces n'apporte aucune augmentation de récolte, les écarts obtenus sont faibles (tableau 46) et dûs sans doute à la variabilité de l'expérimentation.

Les résultats des tableaux 39 et 40 montrent que la croissance en hauteur de la Luzerne est gênée par la présence du Dactyle à partir de la deuxième coupe ; la concurrence du Dactyle à l'égard de la Luzerne est cependant moins importante que celle du Ray grass.

Au niveau des racines, on n'observe pas de différence pour le Dactyle entre culture pure et culture mélangée ; mais un effet dépressif de l'association avec le Dactyle se manifeste sur la production des racines de Luzerne.

La teneur des parties aériennes en azote, phosphore et potassium ne diffère pas entre cultures pures et cultures mélangées ; mais avec le remplacement dans le milieu nutritif des ions NO_3^- par des ions NH_4^+ , on constate une diminution de la teneur en azote et en potassium, et une augmentation de teneur en phosphore dans les plantes, traduisant respectivement la difficulté de l'utilisation des ions ammonium, et les antagonismes d'absorption entre ammonium et potassium et entre nitrate et phosphate.

Enfin, c'est le milieu ammoniacal-nitrique qui porte la récolte la plus élevée en matière sèche et en protéines.

2.3.4. Association Dactyle - Trèfle blanc

L'association Dactyle-Trèfle blanc augmente la récolte en matière sèche des parties aériennes du Dactyle, sans modifier notablement celle du Trèfle blanc (tableau 46). Il en résulte un excédent au profit des cultures mélangées sur milieux nitrique et ammoniacal.

La croissance en hauteur du Dactyle est plus forte en culture mélangée qu'en culture pure. L'influence négative de la présence du Dactyle sur la croissance du Trèfle blanc apparaît à partir de la deuxième coupe, comme pour la Luzerne.

Quant à la production de racines, pour le Dactyle, elle est plus élevée en culture mélangée qu'en culture pure, l'écart est plus important avec le Trèfle blanc qu'avec la Luzerne. Pour le Trèfle blanc, la concurrence avec le Dactyle diminue la production de racine ; cet effet dépressif de culture mélangée sur le Trèfle blanc est cependant plus atténué que dans l'association avec le Ray grass.

Les teneurs en azote et en potassium des plantes sont légèrement plus élevées en culture mélangée qu'en culture pure, mais la teneur en phosphore n'est pas influencée par le mode d'association. D'autre part, lorsqu'on passe du milieu nitrique au milieu ammoniacal, on observe une diminution de la teneur en azote et en potassium et une augmentation de la teneur en phosphore (tableaux 47, 50 et 51).

Enfin, la récolte la plus élevée en matière sèche et en protéines est fournie par culture mélangée sur milieu ammoniac-nitrique. L'avantage des cultures mélangées sur les cultures pures est cependant proportionnellement plus élevé sur les milieux nitrique et ammoniacal.

C O N C L U S I O N

G E N E R A L E

Ce travail a été entrepris en vue d'une contribution à la connaissance de l'influence de l'alimentation azotée sur la croissance et la composition de quatre espèces fourragères, en culture pure et en culture mélangée ; Ray grass d'Italie, Dactyle, Luzerne et Trèfle blanc ont été utilisés, au laboratoire, sur sable et solutions nutritives.

Les parties aériennes récoltées au cours de trois coupes successives ont été mesurées, pesées et analysées pour connaître leurs teneurs en azote, phosphore, potassium et chlorophylle.

Les racines récoltées en fin de culture, après la troisième coupe, ont été mesurées, pesées et analysées pour connaître leur teneur en azote.

La première partie de ce travail consistait à cultiver isolément chacune des quatre espèces sur des milieux nutritifs complets en éléments majeurs et oligo-éléments, contenant 14 meq/l d'azote combiné ; les traitements différaient dans les proportions en ions NO_3^- et NH_4^+ contenus dans les différents milieux nutritifs. Les rapports quantitatifs $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ utilisés ont été les suivants : 4/0 , 3/1 , 2/2 , 1/3 , 4/0 , le rapport 2/2 faisait l'objet de deux milieux préparés avec des sels différents.

Les résultats d'ensemble obtenus dans cette première partie vont être passés en revue.

C'est parmi les milieux ammoniac-nitriques que se trouve le milieu portant la plus forte récolte de parties aériennes ; pour les deux espèces de graminées, c'est le milieu D contenant une quantité égale d'ions NO_3^- et NH_4^+ ; pour les deux espèces de légumineuses, ce sont les milieux contenant les proportions $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+ = 3/1$ et 2/2 . Le milieu exclusivement nitrique (proportion 4/0) est moins favorable à la production de parties aériennes des deux espèces de graminées que le milieu contenant la proportion $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+ = 3/1$; c'est l'inverse pour les deux espèces de légumineuses.

Le milieu exclusivement ammoniacal donne toujours les récoltes les plus faibles ; son effet dépressif est tel sur la Luzerne et le Trèfle blanc que ces deux espèces ne donnent plus de récolte après la première coupe et montrent des symptômes de flétrissement et de chlorose, avec diminution de la teneur en chlorophylle totale. Cette toxicité particulièrement nette sur les deux espèces de légumineuses ne peut s'expliquer par l'acidité physiologique des milieux riches en sels ammoniacaux, puisque l'adjonction de Ca CO_3 au milieu de culture maintient le pH aux environs de 6.

La production de racines suit les variations obtenues pour les parties aériennes et le calcul du rapport matière sèche des parties aériennes/matière sèche des racines ne nous a pas permis de tirer des conclusions générales.

Azote total :

L'influence de la nature du milieu nutritif sur la teneur en azote total des parties aériennes de chacune des quatre espèces, ne peut être dégagée. Chez le Ray grass, la teneur en azote total diminue avec l'âge des coupes, c'est l'inverse pour la Luzerne, où les récoltes de la première coupe sont moins riches en azote total que les coupes suivantes ; pour le Dactyle et le Trèfle blanc, on ne trouve pas de variation notable avec l'âge de la récolte.

Azote minéral :

Chez les quatre espèces, c'est l'azote nitrique qui prédomine largement dans les récoltes obtenues sur tous les milieux contenant des nitrates. Cependant, cette forme d'azote diminue dans les parties aériennes, à mesure que la dose des ions NO_3^- diminue dans le milieu nutritif. Sur un milieu donné, la première coupe est très généralement plus riche en nitrate que les coupes suivantes, ce qui traduit, pour les quatre espèces, une aptitude à une consommation de luxe de NO_3^- supérieure pour les stades jeunes.

Teneur en phosphore :

La teneur en phosphore des parties aériennes augmente lorsqu'on passe des récoltes sur milieu nitrique aux récoltes sur les milieux riches

en ammoniacale, ou exclusivement ammoniacal. Parmi les quatre espèces cultivées, le Ray grass est la plus riche en phosphore, la Luzerne est la plus pauvre.

Teneur en potassium :

Les variations de la teneur en potassium des parties aériennes sont peu sensibles à la composition azotée du milieu nutritif ; l'antagonisme entre les ions K^+ et NH_4^+ est donc peu marqué pour les quatre espèces, ce qui rappelle les résultats obtenus par COÏC (1971) sur Maïs et Tomate.

A la lumière des résultats obtenus dans la première partie, nous avons entrepris d'étudier l'effet de l'association graminée-légumineuse, en culture sur trois milieux nutritifs : nitrique, ammoniaco-nitrique et ammoniacal.

Pour ce faire, les quatre espèces étaient cultivées isolément ou en association : Ray grass-Luzerne , Ray grass-Trèfle blanc , Dactyle-Luzerne , Dactyle-Trèfle blanc. Les trois milieux nutritifs complets contenaient respectivement : 7 meq/l de NO_3^- , 3,5 meq/l de NO_3^- et 3,5 meq/l de NH_4^+ , enfin 7 meq/l de NH_4^+ . La concentration en azote combiné total était ramenée à 7 meq/l dans cette deuxième partie, pour tenter de diminuer l'effet dépressif de milieu ammoniacal, constaté dans la première partie.

Les mesures, pesées et analyses identiques à celles mises en oeuvre dans la première partie, ont abouti aux conclusions suivantes :

- Le Ray grass, et à un degré moindre le Dactyle, bénéficient de l'association avec la Luzerne ou avec le Trèfle blanc. Pour ces deux légumineuses, au contraire, l'association avec Ray grass au Dactyle diminue la récolte. L'effet dépressif le plus marqué était exercé par le Ray grass. A partir de ces résultats, il est intéressant de savoir dans quel type de culture, pure ou mélangée, le couple graminée-légumineuse produit le meilleur rendement.

. Couple Ray grass-Luzerne : la culture mélangée donne un rendement supérieur à la culture pure, sauf sur le milieu ammoniacal.

. Couple Ray grass-Trèfle blanc : c'est pour ce couple que l'excédent de rendement, de la culture mélangée sur la culture pure, est proportionnellement le plus élevé, et on l'obtient sur les trois types de milieu nutritif.

. Couple Dactyle-Luzerne : les écarts sont insuffisants pour affirmer une différence de rendement entre culture pure et culture mélangée.

. Couple Dactyle-Trèfle blanc : la supériorité de rendement de la culture mélangée sur la culture pure apparaît sur les milieux nitrique et ammoniacal.

L'influence du milieu nutritif sur la quantité de matière sèche des parties aériennes et des racines confirme les résultats de la première partie : c'est le milieu ammoniaco-nitrique qui porte, pour chaque traitement, les récoltes les plus abondantes, puis vient le milieu nitrique; le milieu ammoniacal donne des résultats deux à trois fois plus faibles. Notons enfin que c'est la culture mélangée Ray grass-Luzerne, sur milieu ammoniaco-nitrique, qui a fourni la plus forte récolte.

Azote total et protéines (protéines = azote total x 6,25) :

Il n'y a pas de différences notables dans les pourcentages en azote total et protéines des parties aériennes, entre cultures pures et cultures mélangées, et la quantité totale de protéines dans une récolte est donc à peu près proportionnelle au poids de matière sèche de cette récolte ; mais les récoltes sur milieu ammoniacal ont toujours une teneur en azote total et protéines inférieure aux récoltes sur les autres milieux.

Pour les racines, la teneur en azote total des cultures mélangées est plus élevée chez les deux espèces de graminées, et plus faible chez la Luzerne ; le Trèfle blanc ne montre pas de variation régulière.

Teneur en phosphore :

La seule différence entre cultures mélangées et cultures pures, concernant la teneur en phosphore, est observée pour le Ray grass, plus riche en phosphore lorsqu'il est cultivé isolément.

L'ensemble des résultats met en évidence l'influence du milieu nutritif ; pour toutes les cultures, la teneur en phosphore augmente lorsqu'on passe du milieu nitrique au milieu ammoniacal. Notons aussi que le Ray grass et le Trèfle blanc sont plus riches en phosphore que le Dactyle et la Luzerne ; et c'est la culture mélangée Ray grass-Luzerne sur milieu ammoniaco-nitrique qui donne la récolte en phosphore quantitativement la plus élevée.

Teneur en potassium :

Il n'y a pas de différence notable dans la teneur en potassium entre cultures pures et cultures mélangées.

L'influence de la nature du milieu nutritif affecte uniquement le Dactyle et la Luzerne, en culture pure ou mélangée. Ces deux espèces s'appauvrissent en potassium lorsqu'on passe du milieu nitrique au milieu ammoniacal.

Pour le potassium, comme pour le phosphore, c'est le Ray grass qui représente l'espèce la plus riche en potassium, et la luzerne, l'espèce la plus pauvre. C'est également la récolte de la culture mélangée Ray grass-Luzerne qui contient la plus forte quantité de potassium.

B I B L I O G R A P H I E

- ANDRIES, A.P. ; CARLIER, L.A. ; BOUCQUE, C.V. ; COTTYN, B.G. ; (1973).
Possibilités de production de culture de Luzerne, d'un mélange
Luzerne-Dactyle pelotonné, de Ray grass d'Italie et d'un mé-
lange complexe de graminées.
Rev. Agric. Belg., 2, pp. 281-294.
- ARNON, D.I. ; (1949).
cité par BORRIS, H. et KOHLER, K.H. ; (1968).
- AUBERT, G.
Dosage de l'azote ammoniacal et nitrique dans : Méthode d'ana-
lyse des sols.
Edit : C.R.D.P. Marseille, pp. 77-79
- BANGE, G.G. ; TROMP, J. ; HENKES, S. ; (1965).
Interaction in the absorption of potassium, sodium and ammonium
ion in excised barley roots.
Acta. Bot. Neerl., 14, pp. 116-130
- BARBIER, G. ; (1936).
Contribution à l'étude de la nutrition minérale de la plante
en fonction de la composition chimique du milieu.
Ann. Agron., pp. 569-586.
- BILLOT, J. ; (1964).
Méthode de dosage en chlorophylle en présence d'anthocyanes.
Physiol. Végé., 2 (2), pp. 195-205.
- BLANC, D. ; (1958).
Contribution à l'étude de la nutrition azotée en culture sur
sable. Premier mémoire - Incidence de la teneur en azote de
la solution nutritive sur les rendements et l'équilibre parties
aériennes-racines du végétal.
Ann. Physiol. Végé. suppl. 1, pp. 49-69.
- BLANC, D. ; (1959).
Contribution à l'étude de la nutrition azotée en culture sur
sable. 2ème mémoire - Incidence de la teneur et de la forme
d'azote dans la solution nutritive sur le métabolisme azoté
du Dactylis glomerata L.
Ann. Physiol. Végét., II, pp. 163-178.
- BLANC, D. ; (1963).
Etude comparative du métabolisme azote du végétal en milieu
nitrique et ammoniacal-nitrique.
Bull. Soc. Franç. de Physiol. Végét. t. 9 (4), pp. 186-194.
- BORRIS, H. ; KOHLER, K.H. ; (1968).
La détermination de la teneur totale des feuilles en chloro-
phyllé à l'aide du Spectrocolorimètre SPEKOL.
Rev. d'ITENA 4, pp. 232-236.

- BRUNEL, A. ; (1948).
 Dosage des éléments minéraux chez les végétaux - cité dans :
 Traité pratique de chimie végétale II.
 Edit. Georges Frère - Tourcoing 515 p.
- CAPUTA, J. ; (1953).
 Influence de la profondeur de semis sur la levée des graines
 des plantes fourragères.
 Rev. Rom. Agric. 9 (7), pp. 53-55.
- CHARLES, J.P. ; LEHMAN, J. ; (1973).
 Trèfle violet (Trifolium paratense L.), choix du type dans les
 mélanges fourragères et résultats d'essais de variétés.
 Rev. Suisse Agric. 5 (3), pp. 65-70.
- CHOUARD, P. ; (1953).
 Culture sans sol.
 Edit. La Maison Rustique. Paris 200 p.
- CHOUTEAU, J. ; (1960).
 Les équilibres acides-bases dans le Tabac Paraguay.
 Cité dans COÏC et coll. (1961).
- Les Labo membre du C.I.I.E.T.A.D.F., (1969).
 Méthode de référence pour la détermination des éléments
 minéraux dans les végétaux (N, P, K, Na, Ca, Mg).
 Oléagineux, 24^e année, N° 8-9, pp. 497-504.
- CLARK, H.E. ; (1936).
 cité par COÏC et coll. (1961).
- COÏC, Y. ; LESAINT, C. ; LEROUX, F. ; (1961).
 Comparaison de l'influence de la nutrition nitrique et ammo-
 niacale combinée ou non avec une déficience en acide phospho-
 rique, sur l'absorption et le métabolisme des anions-cations
 et plus particulièrement des acides organiques chez le Maïs.
 Comparaison du Maïs et de la Tomate quant à l'effet de la na-
 ture de l'alimentation azotée.
 Ann. Physiol. Vég. 3 (3), pp. 141-163.
- COÏC, Y. ; (1971).
 "Influence du métabolisme de NO_3^- dans les racines sur l'état
 nutritionnel de la plante".
 Recent. Adv. in pl. nutrition. vol. I
 Edit. Gordon and Breach science Publisher pp. 217-227.
- COX, W.J. ; REISENAUER, H.M. ; (1971).
 cité par SCHRADER and al. (1972).
- DAVIES, I. ; (1973).
 Regrowth characteristics of S 23 Perennial Ryegrass sward
 defoliated at early stages of reproductive development.
 J. Agric. Sci., Camb. G.B., 80, pp. 1-10.

- DEJAEGERE, R. ; (1972).
Effet à moyen terme de l'ammonium sur l'absorption du potassium et du calcium par des plantules d'orges.
Bull. Soc. R. Belg. 105 (2), pp. 299-307.
- DEMELON, A. ; (1968).
Principe d'agronomie - Tome II.
Croissance des végétaux cultivés.
Edit. Dundod. Paris, 590 p.
- FAUCONNEAU, G. ; JARRIGE, R. ; (1957).
Composition chimique et valeur nutritive de l'herbe.
Bull. Tech. Inform.. 118, pp. 173-214.
- GARAUDEAX, J. ; (1959).
Etude de la composition minérale de quelques souches de graminées.
Rep. Word Cong. Agric. Res. Rome 7-9 Mai 1959, pp. 593-599.
- GILLET, M. ; (1972).
Quelques réactions de diverses graminées fourragères aux fumures azotées abondantes.
Acad. Agric. France, pp. 872-879.
- GOUNY, P. ; (1955).
Observation sur les particularités de l'alimentation ammoniacale en l'absence et en présence de calcaire.
Ann. Agron. IV, pp. 589-614.
- GROS, A. ; (1962).
Engrais, guide pratique de la fertilisation.
Edit. La Maison Rustique, Paris, 430 p.
- HANWAY, J.J. ; (1962).
Corn growth and composition in relation to soil fertility : III. Percentage of N, P and K in different plant part in relation to stage of growth.
Agron. journ. 54, pp. 222-229.
- HEDIN, L. ; DUVAL, E. ; (1963).
Recherche sur la présence de NO_3^- dans les plantes fourragères et prairiales.
Ann. Physiol. Vég. 5 (I), pp. 29-49.
- HEWITT, E.J. ; (1966).
Sand and water methode used in the nutrition.
Edit. Commonwealth agri. bur. FARNHAM Royal Bucks England. 747 p.
- HOAGLAND ; (1937).
cité par SASPORTES (1968).
- HOMES, M.V. ; (1955).
L'alimentation minérale des plantes et le problème des engrais chimiques.
Edit. Masson et Cie Paris, 140 p.

- HUMPHRIES, E.C. ; (1956).
Mineral components and ash analysis, in : Moderne Methode of Plant analysis.
Edit. Springer-verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg, 542 p.
- HUNT, R. ; BURNETT, J.A. ; (1973).
The effects of light intensity and external potassium level on root/shoot ratio and rate of potassium uptake in perennial Ryegrass.
Ann. Bot. 37, pp. 519-537.
- JAWORSKI, E.G. ; (1971).
Nitrate reductase assay in intact plant tissues.
Bioch. and Biophys. research Communication vol. 43, n° 6, pp. 1274-1279.
- JOHNSTON, M.E.H. ; TATTERSFIELD, J.G. ; (1970).
Comparaison of germination temperature treatments for Ryegrass.
Proc. Int. Seed. Test. Ass. Vol. 35, n° 2, pp. 325-342.
- JURION, R. ; (1968).
Application de quelques méthodes récentes au dosage des éléments majeurs dans les végétaux.
Chim. Anal. 50 (6), pp. 325-333.
- KAFFACHE, Z. ; (1972).
Etude de l'action de l'azote nitrique, ammoniacal, uréique sur la croissance des racines et des parties aériennes de plantules de quatre espèces cultivées : Moutarde blanche, Laitue, Luzerne, Ray grass.
D.E.A. Biol. Vég. Univ. Nancy I U.E.R. P.C.B., 39 p.
- LASTUVAKA, Z. ; MINAR, J. ; (1970).
The relation between nutrient solution concentration and growth and ion absorption of Peas (P. sativum L.)
Pl. Soil. 32, 1970b, pp. 412-423.
- LECOMPT, M. ; (1965).
L'expérimentation et les engrais.
Edit. SPIEA Paris, extrait du Bulletin des Engrais, 89 p.
- LISON, L. ; (1958).
Statistique appliquée à la Biologie expérimentale.
Edit. Gauthier-Villars, Paris, 346 p.
- LOW, A.J. ; PIPER, F.J. ; (1961).
Urea as a fertilizer laboratory and Pot - culture Studies.
J. Agr. Sci. 57, pp. 249-255.
- LUXMOORE, R.J. ; MILLINGTON, R.J. ; (1971)
Growth of perennial Ryegrass (L. Perenne L.) in relation to water, nitrogen and light intensity.
Pl. soil. 34, pp. 269-281.

- Mac KEE, H.S. ; (1962).
Nitrogen metabolism in plants
Edit. Clarendon Press - Oxford - London - 728 p.
- MACKINNEY, G. ; (1941).
cité par BORRIS et Coll. (1968).
- MANSAT, P. ; (1968).
Etat actuel des Techniques de la production fourragère.
Rev. Ass. Franç. Fourrage, 33, pp. 8-21.
- MINOTTI, P.L. ; WILLIAMS, D.C. ; JACKSON, W.A. ; (1969).
Nitrate uptake by wheate as influenced by ammonium and
other cations.
Crop. Sci. 9 pp. 9-14.
- MORARD, P. ; GULLO, J.L. ; (1970).
Minéralisation des tissus végétaux en vue du dosage de
P, K, Ca, Mg, Na.
Ann. Agron. 21 (2), pp. 229-239.
- NATR, L. ; (1970).
Influence du déficit en éléments minéraux sur la production
de matière sèche, l'intensité de la photosynthèse et la quan-
tité de N, P et K dans les plantes.
Physiol. Vég. vol. 8, N° 4, pp. 573-583.
- PENNINGSFELD, P. ; KURZMANN, P. ; (1969). Traduction : HANRAS J.
Culture sans sol ou hydroponique et sur tourbe.
Edit. La Maison Rustique. Paris, 219 p.
- PEQIGNOT, R. ; RECAMIER, A. ; (1961).
Trois années d'étude sur prairies temporaires à Grignan.
Bull. Tech. Ing. Serv. Agric., 163, pp. 839-857.
- PFITZENMEYER, C. ; (1963).
La Luzerne, culture et fertilisation.
Edit. SEDA, Paris, 251 p.
- PLANCQUAERT, P. ; (1973).
Influence de l'azote sur la production de graminées.
Fourrages Fr. N° 53, pp. 67-87.
- POISSONET, P. ; (1973).
A propos de la relation entre le poids de matière sèche récoltée
et la densité de semis d'une espèce.
OE Col. plant. F. 8 (12), pp. 189-194.
- PONTAILLER, S. ; (1965).
Les prairies.
Edit. Fanlac-Sofrimeds à Périgueux - 107 p.
- PUCHER, G.W. ; LEAVENWORTH, E.S. ; GINTER, W.D. ; VICKERY, H.B. ; (1947).
cité par COÏC et coll. (1961).

- SASPORTES ; (1968).
Nutrition nitrique, nutrition ammoniacale.
2ème thèse de Docteur-Ingénieur, Univ. NANCY.
- SCHRADER, L.E. ; DOMSKA, D. ; JUNG, P.E. ; PETERSON, L.A. ; (1972).
Uptake and assimilation of ammonium-N and nitrate - N and
their influence on the growth of Corn Zea mags L.
Agron. J. U.S.A. 64, 5, pp. 690-695.
- SILSBURY, J.H. ; (1971).
The effets of temperature and light energy on dry weight and
leaf area changes in seed bing plants of L. Perenne L.
I. bid 22 - Pl. soil. pp. 177-187.
- SMITH, P.F. ; (1962).
Mineral analysis of plant tissues.
Ann. Rev. plant. physiol. Vol. 13, pp. 81-108.
- SPRATT, E.D. ; GASSER, J.K.R. ; (1970).
cité par SCHRADER and al. (1972).
- THAS, J. ; (1966).
A quantitative determination of the total chlorophyl content
in higher plants.
Meded. Ri. Jksfac - land b - Cent. 31, N° 4, pp. 1297-1301.
- TOUSSAINT, B. ; LAMBERT, J. ; (1973).
Etude comparative des réactions variétales de cinq graminées
de prairie temporaire en fonction de conditions écologiques
bien précises.
Rev. Agric. Belg. 26 N° 3, pp. 575-593.
- VIETS ; (1965)
cité par SCHRADER and al. (1972).
- WEISSMAN, C.S. ; (1964).
Effet of ammonium and nitrate nutrition on Protein level and
exudale composition.
Plant. Physiol. 39, pp. 947-952.
- WHITTINGHAM, C.P. ; (1964).
Chlorophylls in "The chemistry of plant processus".
Edit. Methven and Co L.TD London, pp. 89-91.
- WHYTE, R.O. ; MOIR, T.R.G. ; COOPER, J.P. ; (1959).
Les graminées en agriculture .
Edit. F.A.O. N° 42, Rome, 485 p.

NOM DE L'ETUDIANT : KAFFACHE Zabihollah

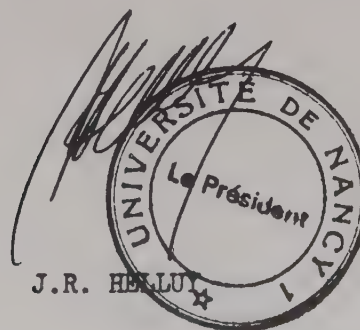
NATURE DE LA THESE : DOCTEUR INGENIEUR

VU, APPROUVE

& PERMIS D'IMPRIMER

NANCY, le 29 octobre 1974

LE PRESIDENT DE L'UNIVERSITE DE NANCY I



NANCY - THESE S
Dactylographie - Duplication
Reliure
20, Avenue de la Garenne
54000 NANCY Tél. 53.02.35

